精细化工产品手册

催化剂

周学良　主编
秦永宁　马　智等编

化学工业出版社
精细化工出版中心

精细化工产品手册

- 日用化学品
- 颜料
- 涂料
- 功能高分子材料
- 胶粘剂
- 橡塑助剂
- 精细化工助剂
- 催化剂
- 常用试剂与高纯物
- 生物化学品
- 信息用化学品
- 药物

ISBN 7-5025-4113-6

9 787502 541132 >

ISBN 7-5025-4113-6/TQ·1618　　定价：30.00元

精细化工产品手册

催　化　剂

周学良　主编
秦永宁　马　智等　编

化学工业出版社
精细化工出版中心
·北　京·

（京）新登字 039 号

图书在版编目（CIP）数据

精细化工产品手册．催化剂/周学良主编，秦永宁，马智等编．—北京：化学工业出版社，2002.10
ISBN 7-5025-4113-6

Ⅰ．精… Ⅱ．①周…②秦…③马… Ⅲ．催化剂-手册 Ⅳ．TQ426-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 069561 号

精细化工产品手册
催 化 剂
周学良 主编
秦永宁 马 智 等 编
责任编辑：侯玉周
责任校对：凌亚男
封面设计：于 兵
*
化学工业出版社
精细化工出版中心 出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
发行电话：（010）64982530
http://www.cip.com.cn
*
新华书店北京发行所经销
北京市燕山印刷厂印刷
三河市延风装订厂装订
开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 12¼ 字数 325 千字
2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4113-6/TQ·1618
定 价：30.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

编写人员名单

主　　编　周学良

编写人员　秦永宁　马　智　贺岩峰

张政朴　郝金库

前　言

本书是一本介绍催化剂的精细化工产品手册。全书共分七章，第一章概论，第二章化肥催化剂，第三章环保催化剂，第四章聚合催化剂和树脂，第五章石油加工催化剂，第六章石油化工催化剂，第七章均相催化反应催化剂。为便于读者查阅，本书所有催化剂均以栏目形式列出，以催化剂产品为主线将每个产品的中英文名称、结构式（或分子式）、相对分子质量、性状、组成、制法、产品规格、使用条件、用途、生产厂家等内容分别列于栏中。由于催化剂产品的特殊性和复杂性，尤其是该类产品的配方组成和制法，至今在国内外往往是属于保密的技术内容，在一般文献和专利中极少透露，因此本书所收集的内容也受到资料来源的限制，尚有一定不足和局限性，致使有的催化剂品种在书中难以详细表述。

本书各章分别由以下人员编写：第一章秦永宁教授，第二、三章马智副教授，第四章张致朴教授，第五、六章贺岩峰教授，第七章郝金库教授。本书由秦永宁教授审稿，周学良教授级高级工程师任本书主编并修改定稿。

本书编写过程中，廖巧丽教授曾提供化肥催化剂的初稿，李文兰老师对第四章作了一些整修工作。杜长海副教授曾对第五、六章作过修改整理。此外，还得到了赵维君教授、梁珍成教授等专家们的大力支持和帮助，在此均表衷心感谢。

催化科学与技术是21世纪核心技术之一，而催化剂又是该核心技术中的重要组成部分。由于编写人员的知识有限，加上文献资料的不足，书中漏误之处在所难免，我们本着抛砖引玉的想法，敬祈各位专家、读者不吝指教为感。

编者

2002年4月

《精细化工产品手册》编写说明

一、《精细化工产品手册》（以下简称《手册》）是一套全面介绍精细化工产品的综合性大型工具书。全套书共划分12个分册。计为：

（1）日用化学品
（2）颜料
（3）涂料
（4）功能高分子材料
（5）胶粘剂
（6）橡塑助剂
（7）精细化工助剂
（8）催化剂
（9）常用试剂与高纯物
（10）生物化学品
（11）信息用化学品
（12）药物

《手册》注重面向生产实际，面向市场经济，为读者提供尽可能丰富、翔实的技术信息和市场信息。全套书整体设计科学，布局合理，覆盖面全，分类严谨，内容翔实，切合国情。尤其注意了与时代同步的新技术、新产品、新信息。在出版体例上，力求做到编排得体，栏目清楚、醒目，检索手段齐全，查找方便。

二、《手册》每一分册均按各自产品分类逐一编号，每一分册的编号均有5位数字组成。前两位数字为该分册的章号，第三位数字为节号，后两位数字为产品编号。

现以《手册》日用化学品分册为例，说明如下。

01410 硫磺皂 Sulfur soap

01——表示该品种排在第一章；

4——表示该品种排在第四节；

10——表示该品种在第一章第四节中的顺序号。

三、《手册》收编产品的范围

1. 国内现行生产的各种精细化工产品。

2. 经鉴定合格、处于中试或扩大试制中的新产品。

3. 一些尚处于科研或试制阶段，但有投产前景的新产品。

4. 国内合资或外商独资企业产品。

5. 老产品一度停产，随市场变化有可能恢复生产的产品。

四、《手册》栏目

在每章、节介绍具体产品之前，一般撰有一段概述性文字，高度概括该类产品的现状、特点，在国民经济中的地位、作用和未来发展趋势等。

1. 中、英文产品名 一般取通用名作为主名称。

2. 别名 区别于主名称之外的其他中、英文名称。

3. 结构式或组成 凡化合物、或列结构式，或列示性式、分子式，有的还列出相对分子质量。混合物或复配物列主要成分或组成。

4. 性状 一般包括主要性质、性能。

5. 质量标准 一般均列出国内标准。依序按国家标准、行业标准、地方标准、企业标准进行考虑，只列一种，原则是有上一级的不列下一级。

为促进与国际接轨，有些产品列出部分国外标准。

没有标准的产品，列出了具体性能指标或质量标准，以资参考。

6. 用途 简明、扼要列出产品的主要应用，有些产品视具体情况还列出用法、用量、参考配方及有关操作工艺。

7. 制法 或以文字叙述，或以方框工艺流程图，或以化学反应式，或采取相互参照方式，予以介绍。

8 生产厂家 视生产规模、技术水平、产品质量和地域分布的具体情况列出。

五、索引

《手册》每一分册的书末都编有产品的中文名汉语拼音索引和英文名称索引。

六、附录

视各专业分册的具体情况，编有必要的附录。

内 容 提 要

本书较系统地介绍了催化剂概况、化肥催化剂、环保催化剂、聚合物催化剂和树脂、石油加工催化剂、石油化工催化剂、均相催化反应催化剂等内容。书中对各个催化剂产品的性能、制法、主要规格、使用条件等作了重点介绍。书中内容丰富，资料新颖，注重实用。可供催化剂生产、科研、应用单位，工程技术人员、管理人员和有关大专院校师生参考。

目　　录

第一章　概论 …… 1
第一节　催化剂 …… 1
第二节　催化剂应具有的性能及其测试和表征方法 …… 2
第三节　固体催化剂制备方法 …… 14
第四节　固体催化剂的工业生产 …… 30
参考文献 …… 42
第二章　化肥催化剂 …… 43
第一节　脱毒催化剂 …… 46
02101　钴钼加氢脱硫催化剂 …… 46
02102　国外钴钼加氢转化脱硫催化剂（部分） …… 50
02103　镍钼加氢转化脱硫催化剂 …… 51
02104　国外镍钼加氢转化脱硫催化剂（部分） …… 53
02105　其他加氢脱硫催化剂 …… 54
02106　氧化锌脱硫剂 …… 56
02107　国外氧化锌脱硫剂 …… 59
02108　氧化铁脱硫剂 …… 60
02109　国外氧化铁脱硫剂（部分） …… 63
02110　铁锰脱硫剂 …… 63
02111　脱氯剂 …… 64
02112　国外脱氯剂（部分） …… 66
02113　脱砷剂 …… 66
02114　JT203 脱砷催化剂 …… 68
第二节　烃类蒸汽转化催化剂 …… 68
02201　天然气一段蒸汽转化催化剂 …… 69
02202　国外天然气一段蒸汽转化催化剂（部分） …… 73
02203　烃类二段蒸汽转化催化剂 …… 75
02204　国外烃类二段蒸汽转化催化剂（部分） …… 77
02205　轻油蒸汽转化催化剂 …… 78
02206　国外轻油蒸汽转化催化剂（部分） …… 81
02207　炼厂气蒸汽转化催化剂 …… 82
第三节　一氧化碳变换催化剂 …… 83
02301　一氧化碳中（高）温变换催化剂 …… 84
02302　CO 中温变换催化剂 …… 88
02303　国外一氧化碳高变催化剂（部分） …… 90
02304　一氧化碳低温变换催化剂 …… 91
02305　国外一氧化碳低温变换催化剂（部分） …… 94
02306　一氧化碳宽温（耐硫）变换催化剂 …… 94
02307　国外一氧化碳耐硫变换催化剂 …… 99
第四节　甲烷化催化剂 …… 100
02401　甲烷化催化剂 …… 100
02402　国外甲烷化催化剂 …… 103
第五节　甲醇合成催化剂 …… 104

02501 甲醇合成催化剂 …… 104
02502 低压合成甲醇催化剂 …… 105
02503 国外低压合成甲醇催化剂 …… 106
02504 国外高压合成甲醇催化剂（部分） …… 107
02505 中压合成甲醇催化剂 …… 108
第六节 氨合成催化剂 …… 109
02601 氨合成铁系催化剂 …… 111
02602 氨合成铁钴催化剂 …… 114
02603 氨合成催化剂 …… 115
02604 国外氨合成催化剂（铁系和铁钴系）（部分） …… 116
02605 国外氨合成钌系催化剂 …… 117
第七节 制酸催化剂 …… 118
02701 S1 系列二氧化硫氧化催化剂 …… 119
02702 氨氧化制硝酸催化剂 …… 123
02703 国外硝酸生产用铂网催化剂（部分） …… 124
参考文献 …… 125
第三章 环保催化剂 …… 126
第一节 机动车尾气净化催化剂 …… 127
03101 贵金属型汽车尾气净化催化剂 …… 128
03102 部分贵金属型汽车尾气净化催化剂 …… 132
03103 非贵金属型汽车尾气净化催化剂 …… 134
第二节 烟气脱硫催化剂 …… 136
03201 SO_2 氧化脱硫催化剂（Ⅰ） …… 136
03202 SO_2 氧化脱硫催化剂（Ⅱ） …… 137
03203 催化还原脱硫催化剂（Ⅰ） …… 137
03204 催化还原脱硫催化剂（Ⅱ） …… 139
03205 催化还原脱硫催化剂（Ⅲ） …… 140
03206 脱硫吸附剂（Ⅰ） …… 141
03207 脱硫吸附剂（Ⅱ） …… 142
03208 脱硫吸附剂（Ⅲ） …… 143
03209 脱硫吸附剂（Ⅳ） …… 145
03210 含硫有机废气净化催化剂 …… 145
03211 其他脱硫剂 …… 146
第三节 固定源尾气脱氮催化剂 …… 146
03301 XW101 型硝酸尾气净化催化剂 …… 147
03302 8209 型硝酸尾气净化催化剂 …… 148
03303 国外硝酸尾气净化催化剂（Ⅰ） …… 149
03304 国外硝酸尾气净化催化剂（Ⅱ） …… 149
03305 国外硝酸尾气净化催化剂（Ⅲ） …… 150
03306 氨分解催化剂 …… 151
03307 D101Q、D201Q 型氨燃烧制氮催化剂 …… 151
第四节 有机废气处理催化剂 … 152
03401 苯系列有机废气净化催

化剂 …… 153
03402 烃类有机废气处理催化剂（Ⅰ） …… 155
03403 烃类有机废气处理催化剂（Ⅱ） …… 158
03404 烃类有机废气处理催化剂（Ⅲ） …… 159
03405 烃类有机废气处理催化剂（Ⅳ） …… 159
第五节 其他环保用催化剂 …… 161
03501 脱 CO 类催化剂（Ⅰ） …… 161
03502 脱 CO 类催化剂（Ⅱ） …… 162
03503 脱氧类催化剂（Ⅰ） … 162
03504 脱氧类催化剂（Ⅱ） … 163
03505 脱氧类催化剂（Ⅲ） … 164
03506 脱氧类催化剂（Ⅳ） … 164
03507 脱氧催化剂 …… 165
03508 除氢催化剂 …… 166
03509 BH 型多功能净化催化剂 …… 166
03510 MC-15 型、DB-75 型、DB-83 型霍加立特催化剂 …… 167
03511 水处理用催化剂 …… 167
03512 其他吸附剂类（Ⅰ） … 169
03513 其他吸附剂类（Ⅱ） … 170
03514 其他吸附剂类（Ⅲ） … 170
03515 脱水干燥剂 …… 171
03516 干燥用分子筛 …… 171
参考文献 …… 173
第四章 聚合催化剂和树脂 …… 174
第一节 自由基聚合反应催化剂 …… 174
04101 过氧化二碳酸二环己酯 …… 174
04102 偶氮二异丁腈 …… 175
04103 偶氮二异庚腈 …… 176
04104 过氧化二碳酸（2-乙基己基）酯 …… 178
04105 过氧化氢叔丁基 …… 179
04106 过氧化叔戊酸叔丁酯 … 179
04107 过氧化环己酮 …… 180
04108 过氧化二叔丁基 …… 181
04109 过氧化氢二异丙苯 …… 182
04110 过氧化二碳酸二异丙酯 …… 183
04111 引发剂 BPPD …… 183
04112 过氧化十二酰 …… 184
04113 过氧化苯甲酰 …… 185
04114 过氧化二异丙苯 …… 186
第二节 强酸性阳离子交换树脂 …… 187
04201 强酸性阳离子交换树脂 …… 188
第三节 强碱性阴离子交换树脂 …… 190
04301 OH 型强碱性阴离子交换树脂 …… 191
第四节 全氟磺酸树脂 …… 193
04401 全氟磺酸树脂 …… 193
第五节 光敏引发剂 …… 196
04501 安息香 …… 197
04502 安息香脱 …… 198
04503 安息香双脱（苯偶酰缩酮） …… 198
04504 2,2-二乙氧基苯乙酮 … 198
04505 对异丙基苯基-2-羟基-2,2-二甲基-1-丙酮 …… 198

04506 2-羟基-2,2-二甲基-1-苯基-1-丙酮 …… 199
04507 对苯氧基-2,2-二氯苯乙酮 …… 199
04508 1-羟基-环己基苯甲酮 …… 199
04509 1-[(4-甲硫基)苯基]-2,2-二甲基-2-吗啉丙酮 … 200
04510 2-苯基-2-(N,N二甲基)氨基-1-(4-吗啉苯基)-丁酮 …… 200
04511 二苯甲酮 …… 200
04512 氯化二苯甲酮 …… 200
04513 4-苯甲酰基-4′-甲基二苯硫醚 …… 201
04514 4-苯基二甲苯酮 …… 201
04515 2-氯代硫杂蒽酮 …… 201
04516 2-异丙基硫杂蒽酮 …… 201
04517 2,4-二甲基硫杂蒽酮 … 202
04518 2,4-二氯硫杂蒽酮 …… 202
04519 芳香族单环甲酸过氧叔丁酯 …… 202
04520 芳香族稠环或杂环甲酸过氧叔丁酯 …… 203
04521 三芳基硼烷络合物 …… 203
04522 芳基环戊二烯络合物 … 204
04523 六芳基双咪唑 …… 204
04524 芳香族锑盐 …… 204
04525 菁染料 …… 205
04526 络丹明染料 …… 205
04527 苯胺基多次甲基 …… 205
04528 三芳甲烷系 …… 206
04529 芴系 …… 206
参考文献 …… 206
第五章 石油加工催化剂 …… 209
第一节 概述 …… 209
第二节 催化裂化催化剂 …… 214
05201 无定形硅铝裂化催化剂 …… 214
05202 低铝分子筛催化裂化催化剂 …… 215
05203 高铝分子筛催化裂化催化剂 …… 216
05204 LC-8 型裂化催化剂 …… 217
05205 超稳 Y 型分子筛催化裂化催化剂 …… 218
05206 半合成分子筛催化裂化催化剂 …… 218
05207 全白土型裂化催化剂 LB-1 …… 219
05208 全白土型裂化催化剂 LB-2 …… 220
05209 高辛烷值裂化催化剂 DOCP-L …… 221
05210 MGG 催化裂化催化剂 …… 222
05211 CC-16 型渣油裂化催化剂 …… 223
05212 MLC-500 型渣油裂化催化剂 …… 223
05213 抗钒催化裂化催化剂 … 224
05214 ZRP 分子筛 …… 226
05215 骨架富硅分子筛 SRY …… 227
05216 CIP-1 型裂解催化剂 … 228
05217 CA 系列多产液化气裂化助剂 …… 229
05218 一氧化碳助燃剂 …… 230
05219 一氧化碳助燃剂（RH 系列） …… 231

05220 金属钝化剂 …… 231
05221 锑锡复合金属钝化剂 … 232
第三节 重整催化剂 …… 233
05301 重整催化剂（系列产品） …… 233
05302 单铂重整催化剂 …… 235
05303 铂锡重整催化剂 …… 236
05304 铂铼重整催化剂 …… 236
05305 铂铼钛重整催化剂 …… 237
05306 高铼超低铂重整催化剂 …… 238
05307 低铂重整催化剂 …… 239
05308 CB-11 重整催化剂 …… 240
05309 3961 型重整催化剂 …… 241
05310 重整保护催化剂 …… 242
第四节 加氢精制催化剂 …… 242
05401 加氢精制催化剂（CH系列产品） …… 242
05402 加氢精制催化剂（RN系列产品） …… 244
05403 加氢精制催化剂（481系列产品） …… 245
05404 馏分油加氢精制催化剂 …… 246
05405 3822 型加氢精制催化剂 …… 246
05406 3722 型加氢精制催化剂 …… 247
05407 石蜡加氢精制催化剂 …… 248
05408 重整原料加氢精制催化剂 …… 249
05409 CH-16 焦化蜡油加氢精制催化剂 …… 250
05410 CH-17 型加氢精制催化剂 …… 251
05411 CH-18 型重整预加氢催化剂 …… 252
05412 常压渣油加氢脱硫催化剂 …… 253
05413 渣油加氢脱硫和加氢脱氮催化剂 …… 254
05414 润滑油加氢精制催化剂 …… 255
05415 含硫 VGO 和 CGO 加氢精制催化剂 …… 256
05416 FH-5 型加氢精制催化剂 …… 258
05417 FH-98 型加氢精制催化剂 …… 259
05418 加氢脱硫催化剂 …… 259
05419 加氢脱氮催化剂 …… 260
05420 加氢保护催化剂 …… 261
05421 加氢脱铁催化剂 …… 262
05422 加氢脱砷催化剂（系列产品） …… 263
05423 抽余油加氢催化剂 …… 264
05424 柴油加氢脱蜡（临氢降凝）催化剂（系列） … 265
05425 加氢脱蜡（临氢降凝）催化剂 …… 266
05426 润滑油加氢脱蜡（临氢降凝）催化剂（系列） …… 267
05427 润滑油加氢脱蜡催化剂 …… 269
05428 JT-1G 型加氢催化剂 …… 269
第五节 加氢裂化催化剂 …… 270
05501 加氢裂化催化剂（系列

产品） …… 270
05502 无氟加氢裂化催化剂 …… 272
05503 3824 中油型加氢裂化催化剂 …… 272
05504 3825 轻油型加氢裂化催化剂 …… 273
05505 焦化柴油加氢裂化催化剂 …… 274
05506 缓和加氢裂化催化剂 …… 275
05507 3903 型中间油型加氢裂化催化剂 …… 276
05508 3905 轻油型加氢裂化催化剂 …… 277
05509 RT-5 型中压加氢改质催化剂 …… 278
第六节 其他石油加工催化剂 …… 279
05601 Y 型分子筛 …… 279
05602 铜-13X 型分子筛催化剂 …… 280
05603 脱氢催化剂（系列） …… 281
05604 T 系列脱氢催化剂 …… 282
05605 柴油降凝催化剂 …… 283
05606 氧化铝载体 …… 284
05607 活性支撑催化剂 …… 285
参考文献 …… 286
第六章 石油化工催化剂 …… 289
第一节 概述 …… 289
第二节 加氢催化剂 …… 294
06201 苯加氢催化剂 …… 294
06202 苯酚加氢催化剂 …… 295
06203 硝基苯加氢制苯胺催化剂 …… 296
06204 脂肪酸加氢制脂肪醇催化剂 …… 297
06205 丁炔二醇加氢催化剂 … 298
06206 碳三选择加氢催化剂 … 298
06207 加氢脱除二烯烃和炔烃催化剂 …… 299
06208 碳四馏分选择加氢催化剂 …… 300
06209 骨架镍（雷尼镍）催化剂 …… 301
06210 改性铜硅胶催化剂 …… 302
06211 裂解汽油一段加氢催化剂 …… 302
06212 裂解汽油二段加氢催化剂 …… 303
06213 裂解汽油一段加氢低钯壳层催化剂 …… 304
06214 RDD-1 型裂解汽油一段加氢催化剂 …… 305
第三节 脱氢催化剂 …… 306
06301 XH 型乙苯脱氢催化剂 …… 306
06302 GS 型乙苯脱氢催化剂 …… 307
06303 NCY 型乙苯脱氢催化剂 …… 308
06304 环己醇脱氢催化剂 …… 309
06305 丁烯氧化脱氢铝铋系催化剂 …… 310
06306 无铬铁系丁烯氧化脱氢催化剂 …… 311
06307 甲醇脱氢催化剂 …… 312

第四节 氧化催化剂 …… 313
06401 乙烯氧化制环氧乙烷银催化剂 …… 313
06402 邻二甲苯氧化制苯酐催化剂 …… 314
06403 萘氧化制苯酐催化剂 … 315
06404 苯氧化制顺酐催化剂 … 316
06405 丙烯氧化制丙烯醛催化剂 …… 317
06406 丙烯氧化制丙烯酸催化剂 …… 318
06407 丙烯醛氧化制丙烯酸催化剂 …… 318
06408 丙烯氨氧化制丙烯腈催化剂 …… 319
06409 乙烯气相氧化制醋酸乙烯催化剂 …… 321
06410 间二甲苯氨氧化制间苯二甲腈催化剂 …… 321
06411 乙烯氧氯化催化剂 …… 322
06412 浮石银催化剂 …… 323
第五节 芳烃转化催化剂 …… 324
06501 甲苯歧化与烷基转移催化剂（ZA 系列） …… 324
06502 ZA-92 型甲苯歧化与烷基转移催化剂 …… 325
06503 甲苯歧化与烷基转移催化剂 …… 326
06504 苯烷基化催化剂 …… 327
06505 二甲苯异构化催化剂 … 327
06506 二甲苯异构化催化剂 … 328
06507 芳烃脱烷基制苯催化剂 …… 329
第六节 其他催化剂 …… 330
06601 乙烯水合催化剂 …… 330
06602 丙烯水合催化剂 …… 331
06603 乙醇脱水制乙烯催化剂 …… 332
06604 T-49 型固体磷酸催化剂 …… 332
06605 烯烃叠合催化剂 …… 334
06606 甲醇气相胺化制甲胺催化剂 …… 335
06607 碳五馏分醚化催化剂 …… 336
06608 MTBE 裂解制异丁烯催化剂 …… 337
06609 ZSM-5 分子筛 …… 338
06610 铜铋催化剂 …… 339
06611 银镍催化剂 …… 339
06612 丙烯液相精脱硫催化剂 …… 340
参考文献 …… 341
第七章 均相催化反应催化剂 … 343
第一节 均相催化的发展过程 …… 343
第二节 不对称有机反应催化剂 …… 345
07201 2、2′-双(双苯基膦)-1,1′-双萘基铑络合物 …… 345
07202 铑的膦配体(DIPAMA)络合物 …… 346
07203 铜螯合物催化剂 …… 346
07204 Ti-酒石酸络合物 …… 347
07205 含氮、氧杂环的硼烷催化剂 …… 348
07206 环氧化 Mn(Ⅲ)催化剂 …… 348
07207 1,2-异亚丙基-5-脱氧-

5-二烷基胺-α-D-木呋喃糖 …… 350
07208 联二萘酚钛络合物 …… 350
07209 光学活性2,2-二取代-硫代脯胺醇衍生物 …… 350
07210 (*S*)-2-(*N*,*N*-二取代氨甲基)二氢吲哚 …… 351
07211 光学活性硫代乙酸胺 … 352
07212 (1*R*,3*S*)-1,2,2-三甲基-1,3-环戊烷二胺 …… 353
07213 噁唑烷的锌氨盐 …… 354
第三节 生产聚烯烃的工业均相催化剂 …… 354
07301 金属茂催化剂 …… 354
07302 二烷基硅桥环戊二烯基叔丁基胺钛（锆）化合物 …… 355
07303 三氯化钛/氯化二烷基铝 …… 355
07304 氯化乙基铝/三氯氧钒 $Al_2Et_3Cl_3/VOCl_3$ …… 356
07305 齐格勒催化剂、菲力普催化剂 …… 356
07306 钛、锆齐格勒催化剂等 …… 356
参考文献 …… 357
中文索引 …… 359
英文索引 …… 366

第一章 概 论

第一节 催 化 剂

对催化剂下一个精确而普遍定义并不容易。20 世纪初（1902 年）奥斯特瓦尔得（Ostwald）给出如下定义“催化剂是能够改变化学反应而并不参加到终产物中去的任何物质”。这个定义比较狭隘。1920 年沙巴契尔（P. Sabatier）做了修正，认为“催化不过是一种某些物质引起加速化学反应的机制，这些物质本身并不进行不可逆的变化”。这个定义也不确切，它过于强调了催化剂在反应中必定不进行不可逆变化，而大多数催化剂由于副反应或污染中毒等会失去活性。20 世纪 20 年代随着化学工业的发展，催化剂的产量和品种日益增多。催化机理，催化反应速率理论迅速发展，已经弄清催化剂一般可以降低反应活化能，而活化能的降低是通过催化剂和反应物相互作用发生的。在此基础上，人们对催化剂有了新的认识，认为“催化剂是一种化学物质，它能影响热力学上可能的反应过程，具有加速作用和定向作用，而反应之后，本身没有变化，不改变热力学平衡”。由于催化剂是具有特殊性能的物质，它的发展促进了工业技术的进步，如：20 世纪初合成氨系列催化剂的开发和生产推动了化肥工业的发展，使农业上了新台阶；20 世纪中期由于新型催化裂化分子筛催化剂的开发和生产，使炼油工业迅速发展成为当今巨大产业；烯烃聚合催化过程的开发和新型催化剂的研制成功和生产，使高分子材料成为一个新兴的产业。目前在工业化国家，催化剂技术支持的产值已经占国民经济生产总值 20% 以上。甚至可以说“没有工业催化就不会有现代的技术世界”，“没有酶的催化作用，任何形式的生命现象就不会存在”。催化科学与技术是与环境、能源、材料、生命科学等密切相关的技术。

目前催化科学与技术包含八大领域。

1. 多相催化科学与技术。

2. 均相催化科学与技术（包括负载络合催化，均相过程多相化等）。

3. 光、电催化科学与技术（光催化和电极催化过程）。

4. 酶催化科学与技术。包括酶的结构与性能，酶改性（新物种和物种改性），酶浓集和固定化，酶的分离和负载以及仿酶催化。

5. 催化分离技术（催化蒸馏技术，催化膜反应技术，催化萃取技术）。

6. 催化材料科学与技术（如分子筛，复合氧化物，纳米催化材料等）。

7. 催化剂制造科学与技术。如：沉淀法、浸渍法、沉淀沉积法、溶胶凝胶法、超临界反应法、等离子体法、生物法制酶等。

8. 催化剂性能表征和催化研究方法（包含与近代物理、化学、数学和计算机技术相结合的各种测试和实验技术）。

上述这些催化科学与技术中的关键物质是催化剂。

第二节 催化剂应具有的性能及其测试和表征方法

一、催化剂使用性能要求

1. 活性

催化剂的活性是判断催化效能高低的标准。工业催化剂的活性用转化率和选择性表示。转化率指的是在一定反应条件下，反应物转化百分率。

如反应

$$A \longrightarrow B + C \tag{1-1}$$

设 A 的原始物质的量为 N_{A_0} 反应后剩余的物质的量为 N_A 则反应物 A 的转化率 X_A

$$X_A = \frac{N_{A_0} - N_A}{N_{A_0}} \tag{1-2}$$

选择性 S 可表示为

$$S = \frac{\text{目的产物物质的量}}{\text{通过催化剂床层反应了的反应物物质的量}} \tag{1-3}$$

如反应物除按反应式（1-1）生成 B + C 外，还可进行

$$A \longrightarrow D + E \tag{1-4}$$

而我们需要的产物是B，生成量为 N_B 摩尔，则对目的产物B的选择性 S_B

$$S_B = \frac{N_B}{N_{A_0} - N_A} \tag{1-5}$$

工业生产中常以给定条件下，单位时间内所生成的生成物（目的产物）重量，即所谓空时收率来表示活性，其单位可用 $kg \cdot L^{-1} \cdot h^{-1}$ 或 $t \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$，如合成氨催化剂的空时收率约为 $15t \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$，即在每立方米催化剂上每天可以生成氨15t。

2．耐热和抗毒稳定性

耐热性：催化剂要具有抗温度波动的性能，因催化剂在较高温度下活性组分会烧结失活，在温度剧烈波动时，催化剂结构会破坏而不能使用，因此工业催化剂需要有较宽温度范围的耐热性。

抗毒性：工业催化剂所处理的原料往往含有较多杂质，这些杂质有的会使催化剂中毒失活，因此工业催化剂应具有较高抗毒性。

如汽车尾气净化催化剂，它使用时温度波动可达数百度。而汽油中含有硫和铅催化毒物，该催化剂经常因催化剂整体破裂或中毒而失效，要使它在汽车上正常使用，就要有很好的耐热和抗毒稳定性。

3．机械强度

工业固体催化剂应有足够的强度来承受不同的应力作用，而不致破碎。首先要能经得住在搬运、安装、装填时引起的不可避免的撞击、碰撞、摩擦的作用；其次能经受使用时因反应介质作用所发生的化学变化、硫化床等反应器中颗粒的摩擦、撞击等作用；另外必须能承受催化剂的自身重量以及气流冲击等作用。对不同的工业催化剂均有使用强度指标要求。

4．寿命

工业催化剂在保持良好活性的前提下，其使用时间的长短是催化剂寿命。

工业催化剂的活性变化可分为三个阶段。

（1）诱导期　（或称成熟期）这段时间内活性逐渐增加而达到极大值。

（2）稳定期　催化剂活性达到最大值后会略有变动而后趋于稳

定，可以在相当长的时间内（几周，几月乃至几年）保持不变。这个稳定期长短一般就代表催化剂寿命。

（3）衰老期 随着使用时间的增长，催化剂的活性迅速下降，有时因偶然的外部原因如操作失误等使催化剂的结构发生变化，以致活性完全消失，不能再继续使用。因此寿命既决定于催化剂本身的特性，也决定于使用者的操作水平。

5. 催化剂颗粒大小、分布、形状和重度

因催化反应器结构和使用条件的不同，对催化剂外形和重度亦有不同要求。所以，合理地选择催化剂外形和物理性质，有利于流体的传质和传热过程，可减少生产过程中的能耗和催化剂的损耗。

二、催化剂性能测试和表征

1. 催化剂的化学组成、结构、物相、表面结构及组成

催化剂化学组成是指组成催化剂各化学物质含量及状态，它主要可用原子吸收光谱、发射光谱、X 光荧光分析、比色分析、电化学分析和络合滴定等各种分析方法来确定。

催化剂物相结构是指组成催化剂各化学物质所形成的各种晶相结构。如 Al_2O_3，其相同化学组成可形成 γ-Al_2O_2，α-Al_2O_3，η-Al_2O_3，θ-Al_2O_3 等各种不同物相结构的物质，常用 X 光衍射分析（XRD）、透射电镜（TEM）中选区衍射来确定。

催化剂表面组成和结构，指的是催化剂表面若干分子层的组成和结构。因固体催化剂表面（或表层）的化学组成和结构与其体相组成和结构是不同的，面且这种不同对催化剂性能有很大影响。常用电子能谱技术，如光电子能谱（ESCA、XPS）、俄歇电子能谱（AES）、电子能量损失谱（ELS，Electron Energy Loss Spectroscopy）等。和电子显微技术如扫描电镜（SEM），低能电子衍射（LEED），电子探针（EPMA）等。催化剂配位结构表征可用核磁共振（NMR）和外延 X 射线吸收光谱精细结构分析（EXAFS）。如用 NMR 可以很好地表征分子筛硅-铝和杂原子的配位结构。

2. 催化剂活性、密度、孔结构、比表面、活性表面（或活性中心数）的表征和测定

催化剂活性，除了前面已经介绍的用转化率和选择性表示以外，

$$\Delta c = x_E - x_i = x_E - x_0 = dc \tag{1-10}$$

这些反应物浓度和产物浓度常用原位色谱、色谱-质谱、色谱-红外联用技术来测定。

催化剂密度有堆密度、颗粒密度、真密度（又称骨架密度）。

单位堆积体积所具有的质量称为堆积密度（ρ_b），简称堆密度。

单位颗粒的表观体积（包括其内部孔的体积）所具有的质量称为颗粒密度（又称为汞置换密度）ρ_p。

单位催化剂骨架体积（不计算催化剂内孔体积）所具有的质量称为骨架密度又称为真密度 ρ_e，测量催化剂各密度主要是测量各种体积。催化剂的堆积体积，包括颗粒之间的孔隙体积，颗粒内微孔体积和颗粒的骨架体积。所以堆体积为

$$V_{堆} = V_{孔隙} + V_{孔} + V_{骨(真)}$$

堆体积可用量筒测量，若催化剂质量为 m 则堆密度 ρ_b

$$\rho_b = \frac{m}{V_{堆}} \tag{1-11}$$

汞对固体催化剂一般是不浸润的，所以汞在常压不会进入催化剂颗粒孔内，只能置换颗粒之间空间。因此用汞置换法可测得颗粒之间孔隙体积 $V_{孔隙}$，一些有机溶剂如苯等可渗入催化剂颗粒孔内，因此可以用比重瓶法测得催化剂骨架体积 $V_{骨(真)}$，这样可得到颗粒密度和骨架密度

$$\rho_p = \frac{m}{V_{孔} + V_{骨}} \qquad \rho_e = \frac{m}{V_{骨}} \tag{1-12}$$

在工业应用中，还有一个与密度有关的参数称作床层孔隙率，它是颗粒堆体积中颗粒之间的空隙体积与堆积体积之比，它也可表示为

$$\text{床层空隙率}(\varepsilon) = \frac{\text{颗粒密度} - \text{堆积密度}}{\text{颗粒密度}} \tag{1-13}$$

催化剂的比表面是指每克催化剂所具有的表面积，它的测定方法是吸附法。通常采用的是郎格缪尔(Languir)吸附模型的等温方程和B.E.T(Brunaur-Emmett-Teller)吸附模型的等温方程。

Languir 吸附模型要点：固体表面对吸附质的吸附是单分子层吸附，固体表面是均一的，吸附分子间无相互作用，在一定条件下，吸附与脱附之间建立动态平衡。由此模型推出的等温方程为

$$\frac{1}{V}=\frac{1}{V_m}+\frac{1}{V_m}\cdot\frac{1}{K_0P} \tag{1-14}$$

式中，V 是在吸附气体压力 P 时的吸附量；V_m 是饱和吸附量，即每克吸附剂表面覆盖满时的吸附量；K_0 在一定条件下是常数，式中 V 和 P 均可由实验测得。若以 $1/V$ 对 $1/P$ 作图，就可求得 V_m。若知道吸附质分子截面就可求得固体的比表面积。

B. E. T 吸附模型的基本假设固体表面对吸附质的吸附是多分子层吸附。固体表面是均一的，吸附分子间无相互作用，在一定条件下每一层吸附层均可达到动态平衡。由此推导出 B. E. T 吸附等温方程为

$$\frac{P}{V(P_0-P)}=\frac{1}{V_mC}+\frac{C-1}{V_mC}\cdot\frac{P}{P_0} \tag{1-15}$$

式中，V 为吸附质压力为 P 时的吸附量。P_0 为吸附质的饱和蒸汽压。V_m 为吸附质单层饱和吸附量即吸附质铺一层时的量。C 在一定条件下为常数。由 $\frac{V}{V(P_0-P)}$ 对 $\frac{P}{P_0}$ 作图可得直线。其斜率

$$K=\frac{C-1}{V_mC}\qquad \text{截距 } I=\frac{1}{V_mC}$$

所以 $$V_m=\frac{1}{K+I}$$

P 和 V 是测量值，吸附温度一定 P_0 就可确定。若吸附量以 A_m（g）表示则比表面积

$$S_g=\frac{A_m\cdot N\cdot A}{MG}\quad (m^2/g) \tag{1-16}$$

式中 N——阿佛加德罗常数 6.03×10^{23}；

A——吸附质分子横截面积；

M——吸附质的相对分子质量；

G——催化剂（或吸附剂）质量。

若把 V_m 换算成标准状态下吸附气体的毫升数，在 -196℃ 下，用 N_2 作吸附质，取氮分子截面积为 $0.162nm^2$ 则

$$S_g=4.36V_m\ (m^2/g) \tag{1-17}$$

孔结构测定方法有毛细管凝聚法和压汞法，毛细管凝聚法是根据蒸气在毛细管内冷凝的 Kelven 方式来测定的，接触角 ϕ 很小

($\cos\phi = 1$)。在毛细管凝聚现象中，其 Kelven 方程可表示为：

$$\ln\frac{P}{P_0} = \frac{-2\sigma M}{\rho RTr} \tag{1-18}$$

式中，P_0 是液体的饱和蒸气压，P 为毛细管（孔半径为 r）液面上的蒸气压，液体的相对分子质量和密度为 M 和 ρ，σ 为液体的表面张力，则 r 可写成

$$r = \frac{-2\sigma\tilde{V}_{液}}{RT\ln\frac{P}{P_0}} \tag{1-19}$$

式中，$\tilde{V}_{液} = \frac{M}{\rho}$ 为液体的摩尔体积。

Kelven 方程表示液面上蒸气压 P 与毛细管孔半径 r 之间的关系，当液体润湿管壁时，液面呈凹弯月面，凹面上的饱和蒸气压小于平面上的饱和蒸气压（P_0），这表明在蒸气压力低于饱和蒸气压时，在毛细管中就有凝聚现象，毛细管半径愈小，在毛细管内发生凝聚所需的气体压力愈低。

根据 Kelven 方程，就可以根据吸附或脱附等温线来计算孔径分布，孔分布指的是孔体积或吸附量在不同孔径范围内的分布。

吸附量一般采用如下方法测量，即在多孔材料（催化剂）所有孔都被吸附质充满并发生凝聚的饱和蒸气压下（$P/P_0 = 1$）开始，逐步降低蒸气压力。蒸发—解凝由大孔向小孔发展，相应蒸气压从 P_1 降到 P_2，就有 ΔV 的蒸气脱附量从相应 Kelven 半径（指的是由 P_1，P_2 从 Kelven 方程计算的半径）大于 r_{k2}的全部孔中排出，通过计算得到 $\Delta V_p/\Delta r_p$ 值，从而可做出 $\Delta V_p/\Delta r_p \sim r_p$ 关系图，获得孔径分布曲线。

压汞法是根据汞对大多数固体是不润湿的，接触角一般约为 140°，需外加压力，汞才能进入固体孔中，由此可推出外加压 P 与汞能进入毛细管内的半径关系为

$$r = \frac{-2\sigma\cos\theta}{P} \tag{1-20}$$

式中 r——毛细管半径；

P——外加压力；

σ——汞的表面张力；

为抗破碎强度。常用的机械强度表示方法有如下几种。

轴向抗压强度 对于形状规则的催化剂颗粒，在轴向加压到颗粒破碎，强度表示为 MPa。

径向抗压碎强度 对于圆柱体、环形或轮状形颗粒，径向加压到颗粒破碎，强度表示为 N/cm。

点压碎强度 对于球形颗粒，将其放在两个平面间，加压到颗粒破碎，强度表示为 N/颗。

磨耗率，耐磨强度或破碎率 将一定数量的催化剂颗粒封入规定容器内，以规定的速度正、倒转或回旋转动容器。经过一定时间，以规定网目的筛网筛分，筛下碎块的重量和封入催化剂重量的比率，称为磨耗率或破碎率（%）。耐磨强度是规定上述方法的磨耗率小于某一限定百分数。

低强度颗粒百分数 上述轴向，径向和点压抗破碎强度所取得的数值是若干颗试样的算术平均值。低强度百分数 η 是抗压碎强度低于某一规定数值的试样颗粒数 n_A 和全部试样颗粒数 n 之比。

$$\text{低强度百分数 } \eta=\frac{n_A}{n} \tag{1-24}$$

变异系数 它是被测试样的标准离差 S 和试样的平均抗压碎强度 $\bar{P}$ 之比，若各个颗粒的抗压碎强度 P_i，则标准离差 S 为

$$S=\sqrt{\frac{1}{n-1}\cdot\sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{P})^2} \tag{1-25}$$

则变异系数 C 为

$$C=\frac{S}{\bar{P}} \tag{1-26}$$

容积抗压碎强度将一定数量（或质量）的颗粒放入一个有活塞的圆筒容器中，在活塞上加规定的压力，并稳定一定时间，然后卸压，倒出样品进行计算。在一定压力下表示容积抗压碎强度的方法有两种。

a. 对各种不同外形的催化剂颗粒，可测出样品受压后的破碎率。

b. 对外形相同或相近的催化剂颗粒，可测出受压后破碎的颗粒数和全部试样颗粒数之比。

$$K_a = \frac{a_H \cdot a_b}{a_{BH^+}} = \frac{a_H \cdot C_B \cdot f_B}{C_{BH^+} \cdot f_{BH^+}}$$

其中 a_b，C_B 分别表示指示剂的活度及浓度；a_{BH^+}，C_{BH^+} 分别为共轭酸的活度及浓度，f_B，f_{BH^+} 分别为指示剂和共轭酸的活度系数，指示剂和催化剂表面作用之后，其颜色变化取决于 C_{BH^+}/C_B 的浓度比

$$\frac{C_{BH^+}}{C_B} = \frac{f_B \cdot a_{H^+}}{K_a \cdot f_{BH^+}} \tag{1-27}$$

根据酸强度函数 H_0 定义

$$H \equiv -\lg(f_B \cdot a_{H^+})/f_{BH^+} \tag{1-28}$$

则

$$\lg C_{BH^+}/C_B = pK_a - H_0 \tag{1-29}$$

当指示剂碱型（B 型）和酸型（BH^+）各一半时

$$C_{BH^+} = C_B$$

$$H_0 = pK_a$$

因此当催化剂表面酸和指示剂作用，使呈酸型和碱型各一半，此点称等当点。由此可用指示剂的 pK_a 衡量表面酸强度的尺度。

水溶液滴定法　此方法是以酚酞为指示剂，用盐酸进行回滴，根据固体酸中和氢氧化钾水溶液的程度来测定酸部位的数量，由于水分子起碱的作用，与无水物质或路易斯酸起反应，会改变固体表面酸性，影响了这一方法测定数据的可靠性。这种方法不能用于可溶解于水的固体。

分光光度法　上述指示剂法测定固体表面酸强度是凭视觉观察颜色变化来确定。这样使测定值带来较大误差和不准确性。在研究指示剂与吸收光谱关系基础上，用测定指示剂浓度 C 而相应测得指示剂 [B]/[BH$^+$]值（碱式对酸式之比）从而得到每个 C 值的 H_0 值，即用 H_0 对 C 作图可得出几条不同的直线或曲线，用分光光度计测定浓度 C，再由图上求得 H_0，可提高指示剂法测定值的正确性。

（2）电化学滴定法　电化学滴定法有电势滴定法和溶剂-电导滴定法两种。

电势滴定法是一种置换滴定酸度的方法。将待测固体酸样品与 NaCl 或 NaOH 水溶液充分混合，进行离子交换后，使用标准 NaOH 溶液或 HCl 溶液进行电势滴定。该法终点清晰易判断，重现性较好。

由于是用溶液交换的办法测酸度，所以不受样品本身颜色的干扰。缺点是必须多次重复交换、洗涤，测定周期较长。

溶剂-电导滴定法　设以 HA 表示任何一种酸，HS 表示碱性溶剂，当 HA 与 HS 充分作用时会发生酸碱反应。

$$HA + HS = H_2S^+ + A^-$$

其平衡常数为

$$K_{HA} = \frac{a_{H_2S^+} \cdot a_{A^-}}{a_{HA} \cdot a_{HS}} \tag{1-30}$$

因 HA 的解离常数

$$K_a^{HA} = \frac{a_{H^+} \cdot a_{A^-}}{a_{HA}}$$

HS 的解离常数

$$K_b^{HS} = \frac{a_{H^+} \cdot a_S}{a_{HS}}$$

所以

$$K_{HA} = K_a^{HA} \cdot K_b^{HS} \tag{1-31}$$

根据 Bronsted 酸定义，K_{HA}可以表征酸 HA 在某种溶剂中释放质子的能力大小，即酸强度（和不存在溶剂时的情况不同）。K_{HA}值的大小，不仅决定于酸 HA 的固有酸强度（K_a^{HA}），而且受到溶剂碱强度（K_b^{HS}）的影响，固体酸如果分别处于不同碱强度的溶剂环境，会有不同的 K_{HA}反映出其固有的酸强度。这样，就可以利用不同 K_b^{HS}的溶剂，完成酸强度的测定。并可以用溶剂的 pK_b（$-\lg K_b^{HS}$）作为酸强度的标度。溶剂的 pK_b 值越大，碱强度越强，测出酸部值越弱。若选用不同 pK_b 值的溶剂，并以 NaOH，乙醇溶液电导滴定固体酸，就可以得到酸强度分布及滴定时选用电导率的突变作为等当点。

（3）碱性气体吸附-脱附法　碱性气体分子与固体催化剂表面接触时，除了发生气-固物理吸附外，还会在值化剂的酸性部位发生化学吸附，这种吸附先从催化剂强酸部位开始，逐步向弱酸部位发展。脱附过程与此相反。因此，对于某一给定催化剂，可以选择合适的碱性气体，利用测量气体吸附、脱附的实验技术，测量酸强度与酸度。根据所用测量方法不同，又可分为热分析法（主要是差热分析和热重分析）和“色谱法”。

热分析法固体酸对不同碱的吸附热，可以用来度量固体表面酸强度，吸附的碱量可以来度量单位体积和单位重量催化剂的酸量，即酸度。

色谱法：主要有三种类型。

a. 强碱中毒法。采用脉冲技术，把活性测定和酸性测定结合起来，此类催化剂活性中心也就是酸性中心。加碱将催化剂表面酸中心用碱中和掉，催化剂就要失去活性，一直加到催化剂活性趋于零为止。假定每一个酸性中心只吸附一个碱分子，就可根据碱性物质分子数算出酸性中心数目。

b. 根据比保留体积判断分子筛表面酸性。芳烃（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）容易吸附在L酸中心，乙烯容易吸附在B酸中心，可用这两种物质在分子筛上的吸附情况，判断分子筛表面酸的类型及酸性。

c. 色谱法测定固体酸强度。在色谱柱中装入固体酸催化剂，通入一定量的碱性较强的吡啶。吡啶在酸性表面上首先吸附在酸性较强的酸点上。然后再通进碱性较弱的苯，苯只能吸附在剩下的弱酸点上。随后进行脱附，再改变吡啶的中和量。随着吡啶吸附量的不同，苯的吸附量也起变化，利用这种特点求得酸强度分布。

(4) 红外光谱法测定固体酸性　红外光谱法可区分催化剂表面酸的类型。例如，用红外光谱可分析吸附在固体表面上的氨和吡啶，可区分B酸和L酸。实验测定吸附在氧化硅-氧化铝上的氨的红外吸收光谱显示出两种吸收带，一种表示吸附在L酸部位上的NH_3，另一种表示吸附在B酸部位上的NH_4^+。氨在SiO_2/Al_2O_3上有三种吸附态，即按照物理吸附的NH_3，配价键合的NH_3和NH_4^+离子。这三种吸附形式均有它们的特征谱带，研究相应谱带的强度可确定相对量。

第三节　固体催化剂制备方法

工业上应用的催化剂近80%是面体催化剂。在此，介绍一下固体催化剂制备常用方法。

一、影响工业催化剂性能的因素

1. 催化剂的化学结构

固体催化剂大部分由几种组分组成，按其在催化反应中所起的作用可分为主催化剂、助催化剂和载体三部分。

主催化剂是催化剂中最主要的活性组分，没有它催化剂就没有活性。助催化剂本身没有活性或活性很小，但加入后能提高主催化剂的活性、选择性、热稳定性和抗毒物能力。镍基烃类蒸汽转化制氢催化剂中，镍是主催化剂，而其中氧化镁和稀土氧化物就是助催化剂。它们与镍可相互作用，使镍在表面高度分散，从而提高催化剂的活性和热稳定性。并能促进表面生成的炭与水蒸气反应而气化，防止了催化剂因表面积炭中毒而失活。

按助催化剂作用机理不同，又可分为结构性助催化剂和调变性助催化剂。结构性助催化剂的主要作用是增大表面，防止烧结，提高主催化剂的结构稳定性等。如 ZnO 是合成甲醇的主催化剂，但在合成温度下，由于重结晶而使活性很快下降。若加入一定的 Cr_2O_3，活性就能保持相当长的时间，Cr_2O_3 就是结构性助催化剂。上述镍基烃类蒸汽转化制氢催化剂中的 MgO，它与 NiO 可形成固熔体，NiO 被还原成 Ni 后，周围的 MgO 起了防止镍在高温下被烧结的作用，它也起到了结构助剂的作用。

调变性助催化剂的作用是改变主催化剂的化学组成、电子结构（化合形态）表面性质或晶型结构，从面提高催化剂的活性和选择性。如铁基合成氨催化剂中加入助剂 K_2O，可提高其催化活性。这是由于 K_2O 起电子给予体作用，Fe 是过渡元素，有空的 d 电子轨道，可以接受电子，是电子受体。K_2O 把电子传给 Fe 后，增加了 Fe 的电子密度，因而提高了活性。调变性助催化剂能使反应活化能降低。

助催化剂的添加量和添加方法对催化剂的性能影响很大，在催化剂制备和生产中具有十分重要的地位，常成为提高催化剂性能的关键。

载体也可起助催化剂作用，因此载体和助催化剂不易区分。一般将催化剂中含量较大且主要是为了改进催化剂物理性能的组分称作载体。在催化剂中有很大一部分的活性组分是载在载体上的。如汽车尾气净化催化剂的活性组分，Pt，Pd 等就是负载在蜂窝状堇青石陶瓷载体上的。使用载体不仅能节约活性组分的用量，而且能改进催化剂

活性，提高抗毒，耐热，稳定等性能。

载体的选择，制备和表面改性也是催化剂制备和生产中的重要方面。

2. 催化剂的物理结构和性状

催化剂的物理结构和性状指的是催化剂外形机械强度、密度、比表面（每克催化剂具有的表面积）、孔结构（孔径、孔径分布、孔容积和孔隙率等），它们会影响催化剂的使用寿命、催化反应动力学、流体动力学等。这些物性与催化剂的化学结构、制备方法、工艺和使用条件，有着密切关系。

催化剂活性也可用反应物在催化剂上反应速度来表示，它可写成

$$r = r_s s_g \eta \tag{1-32}$$

式中，r 为总反应速度，r_s 为催化剂单位表面上的反应速度（称为比催化活性），s_g 为催化剂的比表面积；η 为内表面利用率。一般可以认为工业催化剂在较高的操作温度下，比催化活性 r_s 只决定于催化剂的化学结构，因此对一定化学结构的催化剂，其活性决定于 s_g 和 η。比表面越大，活性越高。绝大多数固体催化剂是多孔物质，它的外表面很小，主要表面是孔的内表面。反应物要扩散到孔内进行反应，产物也要从孔内扩散出来，因此孔的形状、大小、长短等孔结构对内表面利用率有很大影响。内表面利用率可表示为：

$$\eta = \frac{r}{r_0} \tag{1-33}$$

式中，r_0 为孔表面全部被利用时的反应速度。

催化剂的外形、机械强度、密度等与催化反应条件有关。如用于流化床反应器的催化剂大多采用密度较低的小球和微球形状，使它有很好的流体力学性能和抗磨损能力。又如渣油加氢催化剂，为了延缓重金属等沉积所引起的面定床反应器压力降升高，采用了圆柱形、对称和不对称的三叶形和四叶形、三角形等外形。烃类蒸汽转化制合成气催化剂，为了减少床层阻力，将催化剂做成环状。在内扩散控制的气-固相催化反应中，将催化剂做成小圆柱状或小球状，以便提高催化剂的内表面利用率。

机械强度是影响催化剂使用的重要性能，若在使用过程中机械强

度很快下降而破碎，会使催化剂床层阻力降很快增加而被迫停产。催化剂的机械强度与组成催化剂物质的性质有关，如烃类蒸汽转化制合成气二段炉催化剂，若采用一般水泥作载体，则在1200～1300℃高温操作条件下，水泥会失结合水而粉化破碎。因此，通常采用耐高温的耐火材料型物质（如镁铝尖晶石）作载体。催化剂机械强度和制备工艺有密切关系。尤其是催化剂成型工序中，若胶粘剂和成型方法工艺不当，造成催化剂内有内应力，有时会使催化剂在运输、装填过程中就破碎。因此在工业催化剂生产中，对催化剂物理结构和性状要充分重视和科学设计。

二、催化剂制备方法与原理

催化剂制备应保证所得催化剂具有预定（或设计）的化学结构、物理结构和物性，从而保证其活性和稳定性。现常用的催化剂制备方法有：沉淀法、浸渍法、机械混合法、热分解法以及由此派生出来的沉淀-沉积法、溶胶-凝胶法和在某步采用新技术而创造出的新方法，如超声波法和超临界法等。

1. 沉淀法

它是最常用的催化剂制备方法，广泛用于多组分催化剂的制备。该法通常是将金属盐水溶液和沉淀剂分别加入不断搅拌的沉淀槽中，生成固体沉淀。生成的沉淀经洗涤，除去有害杂质，再经干燥、煅烧、活化等步骤而制得成品。金属盐溶液按催化剂所要求的化学组成来配制。常用的沉淀剂有：

① 碱类　氨水，NaOH，KOH等；

② 碳酸盐　$(NH_4)_2CO_3$，Na_2CO_3，CO_2等；

③ 有机酸　乙酸（CH_3COOH），草酸（$H_2C_2O_4$）等。

金属盐溶液与沉淀剂通过复分解反应生成难溶的金属盐和金属水合氧化物（氢氧化物或水合碱式复盐等），当该类化合物的浓度大于它在沉淀温度时的溶解度，就会出现沉淀，也就是溶解的阴阳离子的离子积大于该难溶物的溶度积，这种物质就会沉淀下来。沉淀剂的选择应考虑沉淀剂本身溶解度大，而形成沉淀物溶解度要小，并尽可能不带入不溶性杂质，且具有易分离和洗涤的良好结构。沉淀物实际上是催化剂的先驱物或母体，和催化剂性能有很大关系。控制沉淀条件

这时过程能自发进行。球状胚芽就能稳定地长大成晶核。

生成晶核后，晶核表面上溶质不断沉积，晶粒（沉淀离子）不断长大。晶粒大小决定于晶核析出速度和晶粒长大速度。沉淀过程包括：沉淀物胚芽的形成，晶核的生成，晶粒（沉淀粒子）的长大。由此可见，影响催化剂性能的沉淀条件是沉淀过程的 pH 值、溶液中沉淀物的浓度（过饱和度）胚芽形成晶核生成和长大过程中克服能垒所需的能量输入。

2. 沉淀法的进展

近年来为了获得最佳沉淀物，各国学者在如下各方面作了研究。

(1) 采用加料方式和加料速度的改变来改变溶液 pH 值变化规律，从而获得理想的沉淀物 根据加料顺序不同，加料方式可分为三种。

a. 正加法 在沉淀槽中先加入金属盐溶液，如 $Cu(NO_3)_2$，$Al(NO_3)_3$，然后再加入沉淀剂（如氨水，NaOH 等），即把沉淀剂加入原料金属盐溶液中称为正加法。此时溶液由酸性变为中性，最后变成碱性，pH 值由低到高。

b. 反加法 把金属盐溶液加到沉淀剂中，此时溶液中 pH 值由高到低。

c. 并流加料法 把原料金属盐溶液和沉淀剂各以一定的流速并流加到沉淀槽中，此时溶液维持一定 pH 值。流速比例不同，就可控制 pH 值。根据控制的 pH 值不同，可以得到不同状况的沉淀物。

若用不同加料方式就可得到不同的共沉淀产物，如制备合成甲醇用的铜-锌催化剂，采用 $Cu(NO_3)_2$ 和 $Zn(NO_3)_2$ 的混合溶液，用 NaOH 作沉淀剂，正加法和反加法，在不同的 pH 值范围内，可获得不同 Cu:Zn 原子比组成的沉淀物。表 1-1 表示实验结果。

表 1-1 沉淀条件与沉淀物性质

pH 范围	沉淀物颜色		煅烧分解产物		加料方法
	形成时	老化后	颜色	组成原子比 (Cu:Zn)	
3.6~4.6	蓝	蓝绿	黑	20:1	正加法
4.6~5.0	淡蓝	淡蓝	黑	8.9:1	正加法
5.0~5.0	蓝	蓝	灰褐	0.31:1	正加法
6.0~6.2	白	白	白	0:1	正加法
6.2~9.1	白	白	白	0:1	正加法

续表

pH范围	沉淀物颜色		煅烧分解产物		加料方法
	形成时	老化后	颜色	组成原子比（Cu:Zn）	
14.0~12.5	蓝	褐	褐	1:2.6	反加法
12.5~12.0	蓝	褐	褐	1:2.7	反加法
12.0~11.3	蓝	褐	褐	1:2.1	反加法
11.3~9.3	蓝	褐	褐	1:2.3	反加法

上述试验中 $Cu(NO_3)_2$ 浓度为 0.28mol/L，$Zn(NO_3)_2$ 为 0.84mol/L。Cu^{2+} 与 Zn^{2+} 的比为 1:3，NaOH 为 1.026mol/L。

由表 1-1 可见，不同的加料方式，在不同的 pH 值范围内，得到不同的沉淀物。

（2）利用化学反应来改变溶液 pH 值和沉淀离子浓度的均匀沉淀法　上述采用一种溶液加入另一种溶液得到沉淀的方法，很难防止局部浓度过高，而出现沉淀粒子不均匀，为了得到均匀沉淀，采用两种含有化学反应的方法来获得均匀沉淀。

a. 在溶液中进行包含氢离子变化缓慢的化学反应。

b. 借助形成或放出沉淀离子的反应，提高沉淀离子的浓度。

例如，为了获得氢氧化铝沉淀，可以在含铝溶液内加入尿素并加热至 90～100℃，此时，$(NH_2)_2CO + 3H_2O \longrightarrow NH_4^+ + CO_2 + 2OH^-$ 反应缓慢进行，溶液 pH 值逐渐上升，Al^{3+} 和 OH^- 在溶液中均匀地生成 $Al(OH)_3$ 沉淀。均匀沉淀法所利用的反应可查文献［1，8］。

用均匀沉淀法所得沉淀物，由于过饱和度在整个溶液中比较均匀，沉淀颗粒比较均匀。它的另一个特点可以避免杂质的共沉淀，因此化学组成也比较均匀。

c. 改变能量输入方式来改善沉淀法生产催化剂的质量。

沉淀法生产催化剂时，常用的能量输入方式是加热（温度）和搅拌（机械振动）。近年来科学工作者提出许多新的能量输入方式和方法来提高催化剂的质量，如超临界反应法、等离子体反应法以及各种物理场（电场、磁场、超声场）能量输入方法等。秦永宁等曾用超声沉淀法制备了钙钛矿型纳米微晶催化剂和 γ-Al_2O_3。结果表明：在超声场中可以得到粒径小，比表面积大，分散度高，对 CO 氧化及 NO

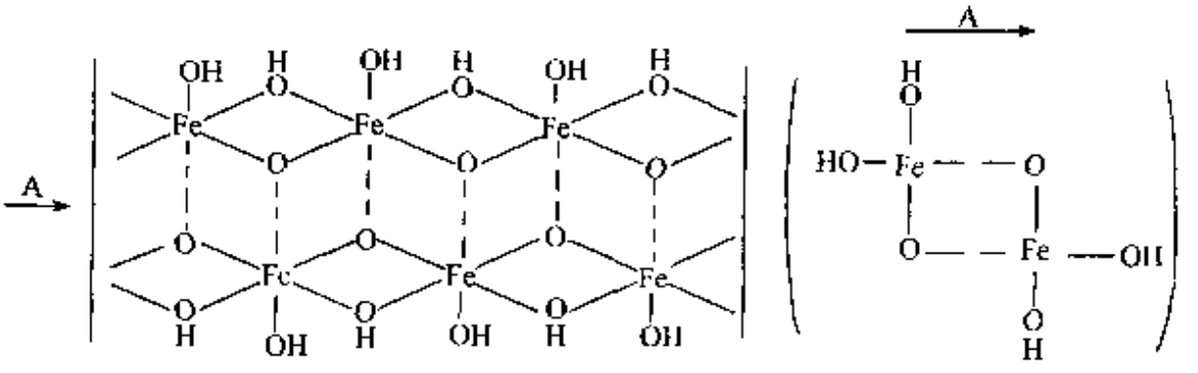
分解活性高的催化材料。在实验范围内，超声波对 $LaBO_3$ 和 γ-Al_2O_3 结构及性能的影响与超声波频率的关系近似为高斯分布曲线，即能量输入有最佳频率，这可用沉淀过程基本原理来解释。

3. 特殊沉淀法——溶胶-凝胶法（Sol-Gel-Methods）

胶体化学中，被分散的胶体粒子称为分散相，粒子所在的介质称为分散介质（溶媒）。当分散相颗粒大小具有或小于可见光波长的数量级（1～100nm）时，普通显微镜看不见溶液中的颗粒，这种溶液称为胶体溶液，简称溶胶。溶胶中胶体粒子彼此合并，互相凝结而生成凝胶沉淀。它是一种体积庞大、疏松、含水很多的非晶体沉淀，经脱除溶媒后，可得到立体网状织构的多孔大表面固体，很适合于用来制备大比表面催化剂、载体和涂膜。溶胶-凝胶法分为两个过程来进行，即分子或离子凝聚生成溶胶，溶胶中的胶体粒子凝结成凝胶。

按分散相和分散介质（一般溶剂）之间亲和力大小，溶胶可分为亲液溶胶和憎液溶胶。亲液溶胶的特点是分散相与分散介质结合牢固，它的胶体粒子表面紧围一层溶剂分子。它的胶体粒子有松软结构，具有可渗透性。溶媒和混在溶媒中的物质能渗透到胶粒里去，即使把分散相分离出来，在沉淀物中常包含溶剂，故称为亲液溶胶。分散相与分散介质之间没有或只有很弱的亲和力的溶液，称为憎液溶胶。这类溶胶性质不稳定，易于凝聚生成沉淀，必须含有稳定剂才能存在。

溶胶-凝胶法是沉淀法制造催化剂的特殊形式，因此也遵从沉淀过程中胚芽出现，晶核的生成和晶粒长大等基本原理和过程。例如，用溶胶-凝胶法制备具有一定织构的铁催化剂时，在沉淀过程中控制 pH 值（4～12）温度 T（25～100℃）和离子浓度（0.01～2.0mol/L）使它生成结构为：



的 $FeOOH \cdot H_2O$ 的多核羟基复合化合物的胚芽和晶核，并逐渐长大为粒度分布在 3.5～4.5nm 之间的均匀溶胶粒子，然后再合理破坏溶胶，凝结成所需凝胶沉淀 α-FeOOH，它的溶胶-凝胶过程为

$$Fe(H_2O)_6^{3+} \rightleftharpoons Fe(OH)_2(H_2O)_8^{4+} \rightleftharpoons FeOOH \cdot H_2O$$

（一个或数个分子组成的胚芽和晶核）→溶胶粒子（粒径为3.5～4.5nm）凝结→凝胶（结构式为 α-FeOOH）

由此可见，溶胶-凝胶法的特点是：先制得具有某种结构的溶胶粒子，然后再使其凝结为凝胶。

制备溶胶的方法大致可分为二类。一是分散法，它是利用胶体磨，气流粉碎，超声波或电弧等方法，把较大的颗粒分散成胶体物系。胶溶法也是分散法的一种，它是将已凝聚成凝胶的粒子在分散成溶胶的一种方式。二是凝聚法，它是由分子（或原子，离子）和它们组成的细小质点凝聚成胶体粒子而成溶胶。它又可分为物理凝聚法（由过饱和蒸气或溶液骤冷而制得溶胶）和化学凝聚法。催化剂生产中应用最多的是化学凝聚法，即在适宜条件下，通过复分解，水解氧化还原等反应，使生成的不溶物由分子状态凝聚达到胶体状态。

溶胶是高度分散的非均相体系，憎水溶胶还具有一定的晶体结构，胶粒与介质间存在着明显的界面。胶体颗粒有很大的表面，因此具有很大的表面（自由）能。根据热力学第二定律，表面能有自发地降低的倾向，胶体粒子有凝结成大颗粒的趋势，最后凝结成凝胶或聚成沉淀。催化剂生产中溶胶的生成只是凝胶的一个过程，因此对溶胶稳定性问题考虑不多。但有时要用稳定的溶胶作为生产催化剂原料，这样就需要加入稳定剂来获得稳定溶胶。尤其对憎液溶胶不加稳定剂不易获得稳定溶胶。只有当溶胶中存在可被胶粒吸附而生成带电胶粒的电解质时，溶胶才能稳定，这种电解质称为稳定剂。这种稳定剂有的是在制备溶胶时随原料带入的，如随原料硝酸铝带入氢氧化铝溶液的硝酸根离子，有的需要外部加入如在硅酸溶胶中加入少量的 NaOH 而得到稳定的硅溶胶。这种溶胶的稳定性可以用双电层理论来解释，即胶体质点在溶液中有选择吸附一种离子（阳离子如 Ag^+，Fe^{3+}…等，阴离子如 NO_3^- 等）而带正电或负电。在溶液中带异号电荷的电

浸渍法是将一种或多种活性组分（包括助催化剂）以盐溶液浸渍到多孔载体上，使金属盐溶液吸附或贮存在载体毛细管中，除去过剩的溶液，经干燥，煅烧和活化而制成催化剂。这类催化剂常称为负（附）载型催化剂。

（1）载体　浸渍一般在干载体上进行，也可以在不干的沉淀或凝胶上进行，载体可以用粉状、粒状和已成型的球状、柱状、环状，甚至大块的整体式蜂窝状载体。附载活性组分所用的载体选择是根据反应的要求和活性组分与载体物理化学性质来确定。载体除了作为催化剂的骨架外，还可以减少催化剂的收缩，增大催化剂的机械强度。载体分子能与活性组分相互作用，起到增强催化剂活性、选择性、抗毒耐热等作用。因此用浸渍法生产催化剂时，对载体有明确要求，希望载体具备下列性能。

a. 有足够大的比表面，合适的孔结构和吸水性，以使附载的活性组分满足反应需要。

b. 具有足够的机械强度，良好的耐热、耐反应物和产物的化学侵蚀，以及制作过程中能耐所用溶液的酸碱侵蚀。如汽车尾气净化催化剂所用载体为堇青石结构的蜂窝陶，若堇青石合成不好，载体中有大量游离的 MgO 等，就会在制作过程中流失，减弱载体机械强度，甚至会造成催化剂粉化和破裂。

c. 具有合适的导热系数、比热、比重和表面酸碱性。

根据催化剂使用条件的不同，制成合适外形。载体大致可分为人工合成和天然矿物加工的两类。文献［1，8］均有报道。

用于各种反应的催化剂种类繁多，各种催化反应的条件也各不相同，因此对载体的要求也不相同。预制的载体不可能全部满足各种反应的要求。因此对选好的载体，经常要进行预处理。载体的预处理条件需根据载体本身的物理化学性质和使用的要求来确定。当选用硅藻土为载体时，常采用水煮，酸洗等处理以除去杂质，选用耐热性能好的耐火材料性质的陶瓷物作载体时，由于它比表面积小，表面化学吸附性能差，常要进行第二载体物的涂覆，或制成表面多组分的复合载体。当载体的孔径不够大时，可采取扩孔处理，载体结构不稳定时，可采用热处理来稳定它的结构等等。所以载体的选择和预处理是浸渍

法生产催化剂的重要步骤。该法第二个重要步骤是载体的浸渍。

(2) 浸渍 常用的浸渍方法有过量金属盐水溶液的浸渍法、等体积浸渍方法和蒸气浸渍法。

过量金属盐水溶液的浸渍法。将载体浸泡在超过载体最大吸附量的金属盐溶液里，经过一定时间后，过滤取出浸泡过的载体，经干燥和煅烧，获得所需催化剂。如生产上常用的浸没法。

等体积浸渍法 测定载体的最大吸附量后，用吸附量同容积的水溶解所需要的金属盐，将溶液全部吸附在载体上，无残余溶液。如生产上采用的喷洒法，即将浸渍液不断喷洒到翻腾着的载体上进行浸渍，浸渍液全部负载在载体上，没有过剩的浸渍液要过滤。

蒸气浸渍法是把活性物质在蒸气中沉淀到载体上。适用于这一方法的是活性组分为金属盐类或氧化物，它们的沸点都比较低，在低温下会升华。如，B_2O_3，MoO_3 等。工业上正丁烷异构化过程中所用催化剂就是用该法制成的。把含铁量低的铁矾土载体放在反应器里，将热的丁烷气流先经过内放 $AlCl_3$ 的容器，使 $AlCl_3$ 升温并升华，$AlCl_3$ 微粒与丁烷一起通过含铁矾土载体的反应器，使 $AlCl_3$ 微粒沉淀到载体上。

经浸渍过程理论分析，影响浸液的活性组分附载量和均匀程度的有以下因素。

a. 选择表面和物理化学结构合适的载体及相应的浸渍方法。

b. 适宜的浸渍液浓度、浸渍速度随浸渍液浓度的增加而加大，但溶液浓度增加，粘度也增大，影响浸渍速度，溶液浓度增加也易使载体细孔堵塞。

c. 浸渍温度 提高温度可以增大扩散系数，降低粘度，从而提高浸渍速度，但升高温度将降低载体的饱和附载量。

d. 适当的能量输入，如超声波作用下可提高活性组分在载体表面分散性和均匀度。

5. 沉淀与浸渍相结合的方法——沉积-沉淀法（deposition-precipitation method）

制备性能最适宜的固体催化剂要求控制基元颗粒和形状，颗粒之间的空隙以及基元颗粒相互聚结，因为活性组分的基元颗粒常常是几

个纳米（10^{-9}m）的数量级。一些重要催化反应，活性组分的最佳粒度约为10nm（1×10^{-8}m）或更大一些。所以这种控制几乎要达到原子的大小，因此目前工业上常用的生产催化剂方法（如沉淀法、浸渍法等）很难以原子的大小控制固体物料。基于这个原因，人们集沉淀法和浸渍法的优点，提出了沉积-沉淀法。该方法就是将含有催化活性化合物的母体，沉积在载体的孔里，代替浸渍。从理论上分析，可能改进现有的催化剂生产方法，获得活性组分颗粒大小适宜，在载体表面分布均匀的负载型催化剂。该方法从1943年提出至今已有50多年历史，目前尚处于逐步完善阶段。表1-2列出了沉积-沉淀法的发展历史。

表1-2　沉积-沉淀法的发展历史

年代	代理人/作者	要　点	参　考　文　献
1943	IG Farbon	氢氧化物、氧化物、硫化物、硒化物的沉淀	German Patent No.740,643 to IG Farben(1943)
1967	Stamicarbon	用尿素从均匀溶液中沉淀：粉末载体	Netherlands Patent Application 67,05259 to stamicarbon(1967)
1970	Unilever	用尿素从浓溶液中沉淀：防止蒸发（Prevention of evaporation）	US patent 3668,148 to Lever Borthers Company(1970)
1970	Stamicarbon	用还原反应从均匀溶液中沉淀：粉末载体	Netherlands Patent, Application 68,1677 to stamicarbon(1970)
1983	Greus et al.	沉积-沉淀法基础研究：用粉末载体	J. W. Gues, in (B. Delmon et al. Eds), Preparation f catalysts Ⅲ, Elsevier, Amsterdam 1983. p.1
1988	shell	活性分布不均匀性控制：用大、预成型载体	European Patent Specification 258,942(1988) to S. I. R. M,—B. V.

沉积-沉淀法涉及浸渍和沉淀两个过程，因此将沉淀剂加入到悬浮有载体的活性前身物溶液时，并不能使溶液均匀地增加以实现沉积-沉淀过程。因溶液向载体微孔内渗透需一定的时间，即有一定的浸渍速度，造成载体孔内外有浓度差。这种局部浓度可以超过整体相化合物（指非表面化合物）的过饱和度，其结果是溶液在这一局部地区形成晶核，并可长大成很稳定的大晶粒，以致在悬浮液搅拌均匀以后也不能再溶解。为了降低载体悬浮液中的局部浓度差，采用两种方

法。一是把沉淀剂的加入和反应分开，如通过尿素水解提高 OH^- 浓度。因为在高于 60℃ 时水解速度比较明显，所以溶液可以先在低温混合均匀，然后再提高温度使反应快速进行。二是将沉淀剂溶液注射到载体悬浮液中。为了使气-液界面不形成足够大的剪切应力，注射口必须低于液面。沉淀剂保证不间断地稳态流动，并使悬浮液激烈搅动来减少局部浓度差。表 1-3 列出了沉积-沉淀法的一些重要方法。

表 1-3 在悬浮的载体上进行沉积-沉淀的方法

序 号	方 法
1	改变 pH 增加 Ni(Ⅱ),Cu(Ⅱ),Fe(Ⅱ),Cr(Ⅲ),Sn(Ⅳ) 降低 V(V)
2	变价 氧化 Fe(Ⅱ)→Fe(Ⅲ) Mn(Ⅱ)→Mn(Ⅳ) 还原 Cr(Ⅵ)→Cr(Ⅲ),Cu(Ⅱ)→Cu(Ⅰ) Pt(Ⅳ),Pd(Ⅱ),Ag(Ⅰ)→金属单质
3	络合分解 脱除 NH_3,EDTA 氧化
4	尿素 $CO(NH_2)_2 \rightarrow NH_4^+ + CNO^-$ $CNO^- + 3H_2O \rightarrow NH_4^+ + HCO_3^- + OH$ $CNO^- + 2H_2O \rightarrow NH_4^+ + CO_2 + 2OH^-$
5	氰化物 $CNO^- + 3H_2O \rightarrow NH_4^+ + HCO_3^- + OH^-$ $CNO^- + 2H_2O \rightarrow NH_4^+ + CO_2 + 2OH$ 不生成 NH_3 的络合物
6	亚硝酸盐 $3NO_2 + H_2O \rightarrow 2NO + NO_3^- + 2OH$

许多活性前身物可以借助提高活性组分溶液 pH 值进行沉淀，尿素、氰化物、亚硝酸盐在水解时均可产生 OH^-。因此就可利用这些反应来控制溶液 pH 值，使沉积在载体孔内溶液中的活性组分均匀而有一定分散度地沉积-沉淀在载体表面，实现沉积-沉淀过程。例如 K.P.de Joug 等研究了尿素水解反应为控制 pH 值模型反应的沉积-沉淀过程，发现对粉末载体，金属氢氧化物（如氢氧化锰）沉积到二氧化硅的沉积速度与尿素水解有关。而决定组分表面分布的沉积-沉淀反应速度比水解反应速度高得多，这可能是由扩散和表面反应综合效果所决定的。对大颗粒的预制载体，浸入溶液时，在载体本体周围会发生瞬时 pH 梯度，影响了依赖 pH 值的沉淀反应速度，使活性组分在表面分布不均匀。阳离子可以借降低 pH 值而沉积于悬浮的载体表

面。在某一pH值，若低价离子可以溶解而高价物不溶，则也可用氧化法沉淀活性前身物。可溶性氧化剂（如硝酸根离子）非常适用于均相溶液中生成沉淀，与载体的表面或体相的相互作用与pH有很大的关系。为控制这种相互作用，应在恒定pH下进行沉淀。氧化过程中被氧化物氧化后会发生水解反应，能够消耗氢氧根离子，因此在沉积-沉淀过程中必须注入碱性物或采用尿素水解法以维持选定的pH值。

E.Boellard等，研究了氯化络合物的沉积-沉淀法制备负载型单金属和双金属催化剂。在氧化铝、氧化硅、二氧化钛载体存在下，制备了一系列单核和多核氯化络合物。这些络合物沉积在这些载体上，分别在氧、氩和氢气氛下热处理使这些氯化物前驱体分解转化为氧化物或金属负载型催化剂，实现了沉积-沉淀过程。

在1998年9月召开的第七届国际催化剂制备会议上，S.C.Emerson等介绍了超声波对减少和控制颗粒大小的影响。他们在沉积-沉淀过程中用超声波处理，发现超声波能改进双金属负载型催化剂合金的生成程度，并能控制金属颗粒大小，制得了纳米级负载型双金属催化剂。沉积-沉淀法是正在发展中的催化剂生产方法，尤其对新型纳米结构的催化剂生产有重要意义。

6. 混合法和熔融法

混合法两种或两种以上的固体组分经湿法或干法在球磨机或碾子上混合后，再进行压缩或挤条成型。如：由沉淀法制得的Fe_2O_3和铬酐CrO_3及其他一些助剂在碾子上混合后，经挤条或压片制成一氧化碳中温变换催化剂。

熔融法将催化剂组分，金属或金属氧化物，在加热熔融状态下互相混合，形成合金和固熔体。它实际上是在高温下进行催化剂组分混合，有利于催化剂混合均匀，熔融温度是该法关键性控制条件。

用于氨合成的铁系催化剂就是将精选后的磁铁矿与助催化剂在感应电炉中于1500～1600℃的高温下熔融，冷却，粉碎而制得。著名的骨架镍催化剂（又称Reney镍催化剂），它是一种镍-铝合金催化剂，也是用熔融法生产的。它是将镍粒和铝粒按所需比例熔融混合，然后倒入模具中冷却制成合金，经粉碎、过筛、活化（又称消化过程）而成，它是将合金在一定温度下（如35～40℃）用pH值为14

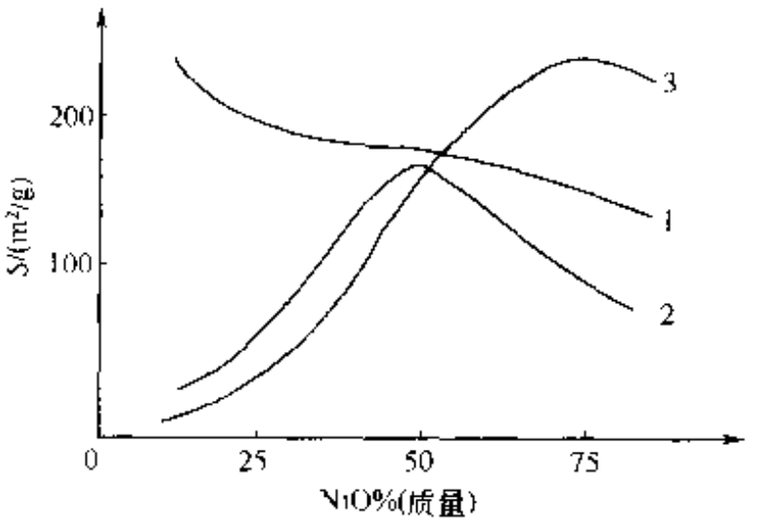


图 1-4　沉淀剂性质对比表面值的影响

1—氨水；2—碳酸铵；3—碳酸钠

用浸渍法制备镍/SiO_2 催化剂时，因所用浸渍液不同所制得催化剂镍晶粒大小也不同。由双对烯丙基镍的醚溶液浸渍制得催化剂，由于全部镍都化学吸附于载体，还原后镍晶粒平均直径仅为0.8nm左右。用$Ni(NO_3)_2$水溶液浸渍制得催化剂由于Ni^{2+}几乎完全不发生化学吸附，还原后的镍晶粒达6.5nm。用机械混合法制备催化剂时，比表面与混合条件有关。如由ZnO及CrO_3粉末混合制造锌铬催化剂，当只加少量水，液固重量比为0.16时，所得催化剂的比表面仅为2～4m^2/g。而用湿法混合时，即用ZnO的悬浮液与CrO_3溶液混合，液固比为1.3时，由于溶解的铬酸与ZnO发生了作用，其表面值达8～14m^2/g。

催化剂制备方法对催化剂组分间相互作用的深度有影响，从而影响到催化剂的化学结构。例如，用不同的制备方法制造含Ni 20%的NiO-SiO_2催化剂，在330℃，氮气气氛下煅烧后用红外吸收光谱测定发现，用共沉淀法和沉淀法制得样品在波数665cm^{-1}及1050～1060cm^{-1}处出现吸收峰。不同于硅胶的谱线（465，800，960，1090，1200cm^{-1}）及氧化镍的谱线（460cm^{-1}）。说明组分之间有相互作用生成了新的化合物，其镍原子处于氧四面体中，即形成四配位镍。对煅烧前后样品进行分析得到相似的红外谱峰，说明这一化合物在煅烧之前就形成。用混合法和浸渍法制得的NiO-SiO_2样品，其红

外吸收光谱均在 500cm $^{-1}$附近出现极大值，表明镍离子在氧四面体中，二价的氧化镍一直存在于样品中，只是形成极少的四配位镍。制备方法对镍催化剂的还原也有很大影响。用沉淀法制备的催化剂在325℃下仅还原（3～4）%高于 400℃时还原才比较明显，混合法或浸渍法制得催化剂极易还原，在 325℃时几乎已还原完全。但比纯的氧化镍的还原温度（150～200℃）要高。这说明氧化镍与载体 SiO_2 存在相互作用，且作用愈深，愈难还原。

由于催化剂化学组成和作用机理不同，不可能有一个通用的生产方法和工艺。必须根据催化剂和催化反应的特点，考虑到环境保护，原料价格，操作难易等因素，选择合理和符合国情的生产方法和工艺。

2. 中型实验

实验室研究出来的催化剂一般要通过中型实验才能投入到工业规模生产。中试一般包括两个方面内容，一是催化剂生产方法与工艺的中型放大实验；二是催化剂使用条件的中型放大和工业侧线实验。

中型实验的重要目的是按实验室推荐的催化剂制造方法和工艺流程，确定这一流程中每个工序所选用的单元设备和岗位操作控制的工艺条件，并取得建设催化剂生产工厂所需的设计数据。并将中试制得的催化剂在现有工厂中侧线或中试装置上进行工业应用条件实验测得该催化剂的活化、失活、再生和稳定操作等各种条件实验数据。例如闵恩泽等在研制和开发磷酸硅藻土叠合催化剂、小球硅铝裂化催化剂、微球硅铝裂化催化剂和 Pt 重整催化剂时都建立了中型实验装置，其中微球硅铝裂化催化剂中试装置的规模最大。他们提出了一种分步沉淀法制造硅铝胶，然后“先干后洗”的生产工艺流程。图 1-5 为中型实验装置的流程图。经中试实验调整了成胶、老化、喷雾干燥等工序的工艺条件，确定各种单元操作设备的选型。提出了设计微球硅铝裂化催化剂生产工厂所需数据，使该催化剂实现了工业规模生产。又如轻油转化制氢催化剂在推向工业应用之前，先在大型化肥厂制氢工段列管式反应炉中进行装填部分炉管工业应用实验。取得催化剂活性稳定性、还原、活化、开停车和操作条件波动等一系列工业应用数

据后，再转入工业规模生产和使用。

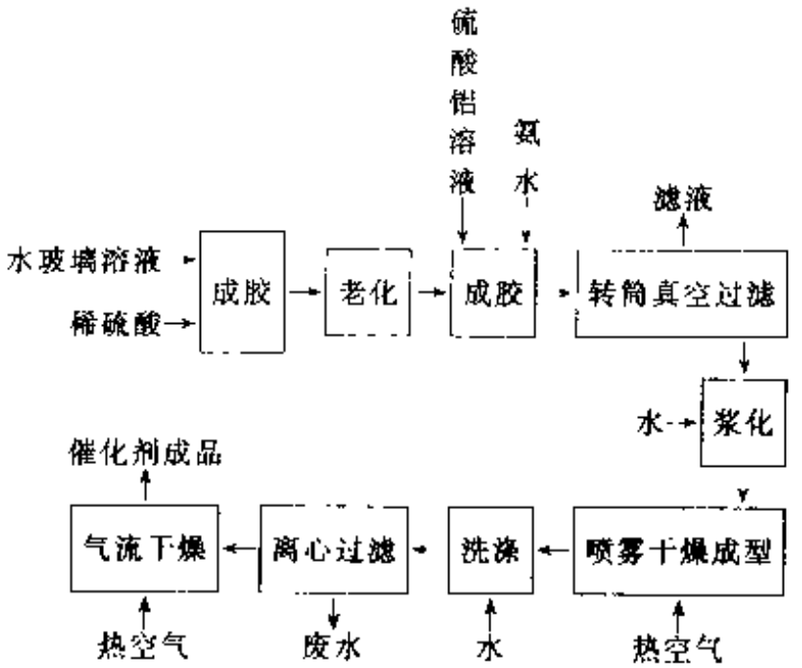


图 1-5　中型试验装置示意流程图

3．生产催化剂的工艺和单元操作

文献［2，3］上有沉淀法和浸渍法生产催化剂的工艺流程图。由流程分析，沉淀法主要单元操作为：原料准备，即催化剂所需各组分原料液和沉淀剂的配制；沉淀和老化；洗涤、过滤；热处理，包括干燥和焙烧、成型、活性和稳定化。浸渍法的主要操作单元为：原料准备，包括载体的选择、改性或合成，浸渍液的配制，浸渍。热处理，包括干燥和焙烧，筛分或成型，活化和稳定化。

由上述两个工艺流程分析可看出，多数单元操作是共有的。如：原料准备、热处理、成型、活化和稳定化。再加上沉淀法特有的沉淀和老化，洗涤和过滤，浸渍法的浸渍操作，因而生产催化剂的基本单元操作可归纳为七类。

（1）原料准备　根据催化剂配方在保证产品质量前提下，尽可能选用价廉，有害杂质少，操作方便的盐类为原料。如制造催化剂载体 Al_2O_3，需用含铝原料与沉淀剂氨水或 NaOH 溶液反应，生成水化氧化沉淀，经煅烧脱水就可得产品。铝盐可采用 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$，$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 及 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$，从化学组成分析，只有 Al^{3+} 和 OH 是有用的，而 Cl^-、NO_4^-、SO_4^{2-}、NH_4^+ 及 Na^+ 等离子是不必要

的，有的是有害的，在生产过程中必须除去。而 NH_4^+ 和 NO_3^- 易除去，所以生产 Al_2O_3 载体常用氨水和硝酸铝沉淀法制备。对铂重整催化剂，因 Cl^- 残留于载体中对重整反应有利，故采用 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 为铝盐原料。原料盐类确定后，根据催化剂配方，通过物料衡算，计算出一个生产周期所需的投料量和最终产品量。这就是催化剂生产中的配方用量计算。如：轻油蒸汽转化制氢 RKN 催化剂的配方为 Ni:Mg:Al=1:7:2，该催化剂产品以氧化物状态出厂。

若已选定原料盐为：$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$，$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$，$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$，则可计算出生产 1t RKN 催化剂所需各种原料盐的理论用量，实际生产中可能流失部分物料。因此要根据中试，或试投料过程中测得原料利用率来校正、求得实际用量。然后再把这些物料在溶解设备中（如槽式反应器）进行溶解配制成所需浓度的溶液（沉淀剂、浸渍液也类似）。

(2) 热处理　按温度和气氛不同，热处理可分为干燥和焙烧。在热处理过程中，催化剂进行热分解反应除去水分和挥发杂质，进行再结晶，得到一定的晶型、晶粒大小、孔结构和比表面，使催化剂具有稳定的物理结构和足够的机械强度。在多组分催化剂中，组分间还可能进行固相反应形成具有活性稳定的化学结构。

a. 干燥　干燥是固体物料的脱水过程，通常在 60～200℃下的空气中进行。物料在与一定温度及湿度的空气相接触时，将排除水分或吸收水分而达到在该温度及湿度下所含一定值的水分，若空气的情况不变，物料中所含水分将恒定在此值，该值就称为此情况下物料的平衡水分。而干燥操作中能除去的水分为物料中大于平衡水分的那部分，称为自由水分，所以干燥过程一般对化学结构没有影响。

设干燥速度 r 为每单位时间在单位干燥面积上被干燥物料所能汽化的水分质量，在恒定干燥条件下可表示为

$$r = \frac{dw}{sdt} \quad [kg/(m^2 \cdot h)] \tag{1-35}$$

式中　w——被干燥物料去除的水分质量，kg；

s——被干燥物料的面积；

t——干燥所需的时间，h。

若已测得干燥速度，则可求得干燥所需时间，干燥物料去除的水

分质量为：

$$w = Ge(C_1 - C_2) \tag{1-36}$$

所需干燥时间

$$t = \frac{Ge(C_1 - C_2)}{rs} \tag{1-37}$$

式中　Ge——湿物料中所含干燥物料质量，kg；

C_1、C_2——湿物料的最初与最终湿度（kg 水分/kg 干料）。

由式（1-35），式（1 36），式（1-37）可见，干燥设备的生产能力在其他条件不变时，由干燥速度来决定。影响干燥速度的因素很多，主要有湿物料的物理结构、化学组成、形状及大小、物料层的厚薄、水分的结合方式等湿物料的性质与形状。物料的最初与最终湿含量。物料本身和干燥介质的湿度以及干燥介质流动速度，与湿物料接触情况等诸因素，而这些均与干燥器的构造有关。目前常用的干燥器有如下几种。

盘架式干燥器　可分为箱式和隧道式两类，主要用于干燥滤饼或成型物料。

回转圆筒式干燥器　适用于处理容易流动而不易破碎的颗粒物料。

带式干燥器　通常是由多层输送带构成，装在窑炉内，利用烟道气加热，用于处理块状或颗粒状物料。

喷雾干燥器　采用雾化器将待干燥的胶体溶液、悬浮液或膏糊状物料分散成雾滴，在热风中干燥脱水得到粉状或微粒状成品。

薄膜干燥器　利用离心力将湿物料喷涂在筒体的内壁上，受到外壁夹套蒸汽加热，使湿物料中的水分受热蒸发，干燥后的物料被旋转的刮刀刮下，放出器外。

红外线，远红外和微波干燥器　利用红外线和微波对物料辐照，加热物料，达到干燥的目的。这类干燥具有较高的生产强度，可减少干燥设备容积，可用于干燥块状或粉状物料。此外还有真空干燥器，气流干燥器，沸腾床干燥器，喷雾沸腾造粒干燥器等。

干燥过程对催化剂的物理结构和活性组分在表面的分布会有影响。用浸渍法制备催化剂，沉积在毛细管中的活性组分，即毛细管中

浸渍液所含的溶质，在干燥过程中会发生迁移现象，造成活性组分的不均匀分布。改变干燥条件会对催化剂比表面和孔容有影响，表 1-4 为硅溶胶和硅凝胶用不同方法干燥时、比表面和孔容的变化情况。

表 1-4 干燥方法对比表面及孔容的影响

干燥方法	硅溶胶		水凝胶-1		水凝胶-2[2]	
	比表面/(m^2/g)	孔容/(ml/g)	比表面/(m^2/g)	孔容/(ml/g)	比表面/(m^2/g)	孔容/(ml/g)
喷雾干燥	105	0.15	725	0.79	396	0.87
真空干燥	132	0.21	642	0.58	346	0.65
沸腾干燥	145	0.26	651	0.65	302	0.77

① 中和条件 pH 值 4.0。

② 中和条件 pH 值 10.0。

b. 焙烧 催化剂在焙烧过程中会发生物理和化学变化。焙烧一般在空气和惰性气体气氛下进行，通过热分解反应除去化学结合水，CO_2、NO，等挥发性杂质，转化成所需化学结构的化合物。在高温下，会发生固相反应，形成对催化活性有利的化合状态和活性相。通过分解产物的再结晶，得到一定的晶型、晶粒大小、孔结构和比表面。在高温下，离子的热迁移可能形成晶格缺陷，或其他离子的嵌入，使化合的化学价态变化而更具有催化活性。所以焙烧过程也是催化剂的活化过程。在高温下微晶会烧结。适当地烧结不影响活性，还可提高催化剂的机械强度。

焙烧有时在催化剂成型后进行，这时不希望催化剂颗粒反复回转或翻动。一般采用固定焙烧设备，对未成型焙烧的催化剂粉或颗粒常采用回转式或翻动式焙烧设备，以便物料焙烧均匀。

焙烧设备种类 按操作状况可分为间歇作用焙烧炉，和连续作用焙烧炉。按工作温度又把在 800℃ 以下工作的称为中温焙烧炉、800℃ 至 1600℃ 左右工作的称高温焙烧炉。按加热方法又可分为电加热炉和烟气加热炉。按结构又可分为厢式、带式、圆筒式、转筒式、隧道窑式等。焙烧炉的选用，要根据所选定的焙烧条件，操作方便、经济上是否合理等。焙烧条件的选择，主要是考虑催化剂能获得所确定（设计的）物理结构和化学结构及其性能。焙烧炉主要应考虑的条件是，焙烧温度及升温速度和时间，焙烧的气氛和流速等。总之焙烧

化学胶粘剂的作用是胶粘剂组分之间发生化学反应或胶粘剂与物料之间发生化学反应。如氧化镁成型时加入氯化镁溶液，颗粒间生成氯氧化物，使产品有很好强度。

润滑剂，在催化剂成型时，尤其在压缩成型时，为了使粉体层所承受压力能很好传递，成型压力均匀及产品容易脱模，而需添加极少量润滑剂为成型助剂。文献［4］给出了常用胶粘剂和润滑剂的品种。

为改善催化剂孔结构，在成型时加入一些造孔物质称为造孔剂。这些物质通常在催化剂焙烧过程中变为气体排出，而起到造孔作用。如硬酯酸盐、羧甲基纤维素、硝酸盐等。催化剂成型方法很多，主要有压缩成型、挤出成型、转动成型、喷雾成型、喷动成型以及制成大块的蜂窝型载体的模型式压挤制陶成型。而常用的是前四种成型方法。下而作些简要介绍。

压缩成型是将要成型的催化剂或载体粉末放在一定体积的模子中，通过压缩方法成型，在压缩过程中，粉体的空隙减少，颗粒发生变形，颗粒之间接触面展开，粉体致密化而使颗粒间粘附力增强，形成一定形状的块体。它是最普遍的成型方法。

挤出成型是将催化剂粉料和适量水分或胶粘剂，经充分混合后，送至带有多孔模头或金属网的挤出机中，物料被挤压入模头孔中，以圆柱状或其他形状被挤出模头。在模头外离模面一定距离处装有切割工具（如刀片），将挤出物切成适当长度面制得催化剂成型产品，这是常用的成型方法。

转动成型是将催化剂或载体物料（粉料）和适量水（或粘合剂）送到转动容器中。由于摩擦力和离心作用，物料在容器中不断地上下滚动，物料互相粘附、粘结，逐渐长大为一定大小的球形颗粒，而制得成型产品。这也是催化剂常用成型方法之一。

喷雾成型是利用喷雾干燥原理进行催化剂成型的一种方法。喷雾干燥是喷雾与干燥紧密结合的工艺过程。它主要包括空气加热系统，料液雾化及干燥系统，或型干粉收集及气固分离系统。由送风机送入的空气经燃烧炉加热后作为干燥介质送入喷雾成型塔中，需要喷雾成型的浆液由泵送至雾化器。雾化液与进入塔中的热风接触后，水分迅

表 1-5 在 673K 下金属氧化物和金属氯化物还原反应平衡常数

项 目	$(P_{H_2O}\cdot P_{H_2}^{-1})eq$	$(P_{HCl}^2\cdot P_{H_2}^{-1})eq(Pa)$
Ni	$5\times10^2(NiO)$	$6\times10^3(NiCl_2)$
Fe	$1\times10^{-1}(FeO)$	$3(FeCl_2)$
	$7\times10^{-1}(Fe_2O_3)$	$6\times10^7(FeCl_3)$
Co	$5\times10^1(CoO)$	$3\times10^2(CoCl_2)$
Re	约 $10^4(ReO_2)$	
	约 $10^{12}(ReO_3)$	
Ru	约 $10^{12}(RuO_2)$	约 $10^{17}(RuCl_3)$
Rh	约 $10^{13}(RhO)$	约 $10^{14}(RhCl_2)$
		约 $10^{15}(RhCl_3)$
Ir	约 $10^{13}(IrO_2)$	约 $10^{16}(IrCl_4)$
Pd	约 $10^{14}(PdO)$	
Pt		约 $10^{18}(PtCl_2)$
Ag	$3\times10^{17}(Ag_2O)$	$4\times10^6(AgCl)$
Cu	$2\times10^6(Cu_2O)$	$4\times10^{11}(CuCl_2)$
	$2\times10^8(CuO)$	
W	$1\times10^{-1}(WO_3)$	
Mo	$2\times10^{-2}(MoO_2)$	
	$4\times10^1(MoO_3)$	$2\times10^{-4}(CrCl_2)$
Cr	$3\times10^{-9}(Cr_2O_3)$	$6\times10^{-1}(CrCl_3)$

e. 沉淀、老化、洗涤、过滤和浸渍 关于沉淀反应的条件在沉淀法中已进行了讨论，可根据催化剂物理和化学结构要求来确定，该过程在带搅拌或蒸汽加热的沉淀槽中进行。沉淀反应结束后，沉淀物与溶液在一定条件下继续接触，在这期间，沉淀物的性质随时间变化，所发生的不可逆的结构变化称为老化。从形成沉淀直到干燥除去水分为止的这段时间均称为老化阶段，这时期发生的主要变化有颗粒长大、晶型完善和凝胶的脱水收缩等。在沉淀过程中会带入一些有害杂质如 Na^+，SO_4^- 等，就要用蒸馏水或去离子水洗涤除去。洗涤过的物料含水量很大，因此用压滤机或离心过滤机除去过剩水，然后将滤饼进行干燥。

浸渍方法与条件已在浸渍法中讨论，可根据催化剂物化结构性能来确定浸渍条件。

4. 工业催化剂的使用和回收

催化剂的合理使用是十分重要的，有时由于使用不当，会使整炉

催化剂报废，造成巨大经济损失。因此催化剂生产厂对每一个出厂的催化剂品牌应有明确的质量检测方法和标准，以及使用范围和操作条件的说明。如用于炼油厂，大型石油化工企业，以及以渣油或煤为原料的大型化肥厂，克劳斯（Claus）硫回收装置[7]的催化剂涉及的反应为：将有机硫转化为 H_2S，再将 H_2S 转化为单质硫。

$$COS + H_2O \xlongequal{} H_2S + CO_2$$

$$CS_2 + 2H_2O \xlongequal{} 2H_2S + CO_2$$

$$H_2S + \frac{3}{2}O_2 \xlongequal{} SO_2 + H_2O$$

$$2H_2S + SO_2 \xlongequal{} \frac{3}{n}S_n + 2H_2O$$

国产 LS-811 和 LS-821 脱 S 催化剂的质量标准及检测方法如表 1-6 所示。

表 1-6 LS-811 和 LS-821 质量指标及检测方法

项目		LS-811	LS-821	检测方法
化学组成/%	Al_2O_3	≥93	≥86	石油三厂 Q/SVB 432C-34
	促进剂	—	≥6.0	山东铝厂 HGI 1546-84
	Na_2O	≤0.30	≤0.30	石油三厂 Q/SVB 416-84
	Fe_2O_3	≤0.04	≤0.04	石油三厂 Q/SVB 484-84
	SiO_2	≤0.30	≤0.30	山东铝厂 HGI 1546-84
物理性质	外形尺寸/mm	φ4～φ6 球	φ4～φ6 球	—
	比表面/(m^2/g)	≥220	≥220	辽 Q/1750-84
	孔容/(ml/g)	≥0.43	≥0.40	辽 Q/1750-84
	堆密度/(kg/L)	≥0.65	≥0.70	石油三厂 Q/SVB 372-84
	点压碎强度/(N/粒)	>100	>100	石油三厂 Q/SVB 374-84
	磨耗率/%	<1	<1	GB 3636—83

它们的正常使用条件是 LS-811 型催化剂用于第一反应器时压力为 5～10kPa（帕表压）入口温度 220～240℃，床层温度 270～290℃，空速 470h^{-1}；第二反应器的压力为 20～30kPa，入口温度 210～220℃，床层温度 220～240℃，空速 650h^{-1}。

有的催化剂还要对开、停车的操作条件作详细说明。如合成甲醇催化剂（Cu-Zn-Al），在开车时，必须用氢小心还原使其活化。而且

对其操作条件、温度和压力有较详细说明，如 C301 催化剂使用温度范围为 220～270℃ 最佳，并给出温度压力对催化剂活性的影响以及空速对甲醇产量的影响的说明。在停车时，气氛对催化剂活性的影响详见向德辉著《化肥催化剂实用手册》。

固体催化剂都有一定的使用寿命，失活的催化剂就要报废。因此催化剂的回收工作也是催化剂生产中一个环节，首先把催化剂中一些贵金属回收再利用降低催化剂的生产成本，而且固体催化剂中含有各种金属和有害物质不能随意抛弃造成对环境污染，因此废催化剂回收、再生和再利用是工业催化剂生产中应重视的问题。

参 考 文 献

1 赵九生，时其昌等．催化剂生产原理．科学出版社，1986

2 张高良．工业催化剂的生产．上海科技出版社，1988

3 A. B. 司梯勒斯．催化剂生产——实验室和工业制备．顾其威、陈学富、许志美译．华东化工学院出版社，1991

4 朱洪法编．催化剂成型．中国石化出版社，1992

5 庞斯莱特等．催化剂的制备Ⅲ（会议论文集），制备非均相催化剂的科学基础．梁育德、缪雪如、卞杰、徐世钧译，化学工业出版社，1991

6 闵恩泽著．工业催化剂的研制与开发——我的实践与探索．中国石化出版社，1997

7 向德辉、刘惠云 化肥催化剂实用手册．化学工业出版社，1992

8 B. Delmon 等主编（国际会议论文集）

8.1 Preparation of catalysts Ⅳ Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1987

8.2 Preparetion of catalysts Ⅴ Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 1991

8.3 Scientific Bases for the preparation of Heterogeneous catalysts, Vol. Sixth International symposium. September 5～8, 1994. Louvain-la-Neuve (Belgium)

8.4 Preparation of catalysts Ⅶ. Elsevier. Amsterdam-Lausanne-New york-oxford. -Shannon-Singapore-Tokyo. 1998

9 Lucio Forni. Comparison of the Methods for the Determination of Surface Acidity of Solid Catalysts. Catalysis Reviews 1973, 8(1)65～115

10 田部浩三．固体酸碱及其催化性质．赵君生、张嘉郁译，化学工业出版社，1979

11 Robert. B. Auderson. Experimental methods in catalytic research Vol. Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ. New York, 1976, 中国科学院长春应用化学研究所催化研究室译．科学出版社，1983

12 Francis Delannay. Characterization of heterogeneous catalysts. Berkeley, California 1984

13 刘希尧．工业催化剂分析测试表征 石油化工出版社．1990

14 清华大学分析化学教研究室．现代仪器分析上、下册．清华大学出版社，1983

15 甄开吉．表面化学．吉林大学出版社，1995

第二章　化肥催化剂

化肥催化剂系指在生产化学肥料的前加工工业中所采用的各类催化剂和固体净化剂。所谓化肥的前加工工业即合成氨、硫酸、硝酸工业。此外，在氢气、合成气（CO 和 H_2）的工业生产中也必须采用与此相关的催化剂。

氨主要用于制造尿素，还可用于生产硫酸铵和硝酸铵等化肥。合成氨的原料很多，可以从天然气、炼厂气、焦炉气出发来合成氨，也可以由煤或焦炭来制造，还可以由轻油（石脑油）、渣油或重油来制造。不同原料路线有各自的生产流程，流程中需要采用催化剂的过程也不尽相同。例如，当用天然气或轻油为原料时，首先要对原料进行脱硫处理，然后将原料中的烃类与水蒸气及空气反应，使其转化为含有 H_2、N_2、CO 等组成的粗原料气，该过程称为蒸汽转化。接着是一氧化碳与水蒸气反应变成氢和二氧化碳，称为变换过程。变换气经过脱除二氧化碳后还含有极少量 CO 和 CO_2，它们对氨合成催化剂有毒害作用，需要预先经过甲烷化过程，使其加氢转变成不毒害催化剂的甲烷。至此才制成了合格的合成氨用氢氮混合原料气，最后是氨合成过程，制造出氨。在以上一系列加工过程中，脱硫、蒸汽转化、变换、甲烷化、氨合成等几个过程必须采用催化剂和脱硫剂，共计七种。当用煤为原料时，煤气化为粗原料气过程不需要催化剂，但在其后的变换、甲烷化和氨合成等过程则需要用催化剂。以渣油或重油为原料时，油的气化和脱硫是非催化过程，但原料气脱硫、一氧化碳变换和氨合成等过程必须采用催化剂。

硫酸是制造磷肥和硫酸铵的重要原料之一。制造硫酸的过程是首先将硫铁矿或硫磺与空气一起焙烧，生成含 SO_2 的混合气，然后将 SO_2 氧化为 SO_3，再用浓度为 98% 的硫酸水溶液吸收则变成硫酸。SO_2 氧化过程需要采用催化剂。

硝酸是生产硝酸铵、硝酸钾和硝酸磷肥的原料之一。工业上制造硝酸的方法是氨氧化法，即用空气将氨氧化为氧化氮，然后用水吸收

则变成硝酸，该工艺中的氨氧化需要采用催化剂。

化肥催化剂的品种繁多，性能改造和更新换代频繁，为了便于区别，将各种品种按用途进行了分类。目前我国生产的化肥催化剂分为以下几类。

1. 脱毒催化剂　类别代号 T，主要用于脱除原料气中使催化剂中毒的微量杂质。包括活性炭脱硫剂（T1）、加氢转化脱硫剂（T2）、氧化锌脱硫剂（T3）；脱氯剂（T4）；转化吸收脱硫剂（T5）；脱氧剂（T6）；脱砷剂（T7）等。

2. 转化催化剂　类别代号 Z，主要用于烃类蒸汽转化制氢或制合成气。包括天然气一段转化催化剂（Z1）、天然气二段转化催化剂（Z2）、炼厂气转化催化剂（Z3）、轻油转化催化剂（Z4）及重油转化催化剂（Z5）等。

3. 变换催化剂　类别代号 B，主要用于一氧化碳与水蒸气变换为二氧化碳与氢的反应。包括中温变换催化剂（B1），低温变换催化剂（B2），宽温（耐硫）变换催化剂（B3）等。

4. 甲烷化催化剂　类别代号 J，主要用于使一氧化碳和二氧化碳加氢转变为甲烷和水。包括合成氨生产中使用的甲烷化催化剂（J1）和煤气甲烷化催化剂（J2）等。

5. 氨合成催化剂　类别代号 A，主要用于由氢氮混合气合成氨的反应。包括氨合成催化剂（A1）和低温氨合成催化剂（A2）等。

6. 制酸催化剂　类别代号 S，主要用于硫酸生产中 SO_2 氧化为 SO_3 的反应，以及硝酸生产中 NH_3 氧化为氮氧化物的反应。包括二氧化硫氧化催化剂（S1）；氨氧化催化剂（S2）。

7. 其他有关催化剂　系指可在化肥厂中应用的其他催化剂。例如，一氧化碳选择性氧化催化剂（Y），用于选择性地将气体混合物中微量一氧化碳氧化为二氧化碳；二氧化碳脱氢催化剂（DH），用于脱除二氧化碳中微量氢和氧，使二氧化碳原料符合尿素合成工艺的质量要求；硝酸尾气处理催化剂（D3），用于将 NO_x 与 NH_3 反应转化为 N_2 和 H_2；硫回收催化剂（LS 和 CT），即克劳斯催化剂，用于将硫化氢转化为单质硫；制氮催化剂（D），用于由氨制备保护气 N_2；联醇催化剂（C2），用于合成氨厂联合生产甲醇，等等。

第一节 脱毒催化剂

反应气体中某些杂质极易导致催化剂中毒，使催化剂的活性、选择性或机械强度迅速下降，甚至完全失活。最常见的毒物有硫化物，氯化物和砷化物、必须预先脱除这些杂质才能避免催化剂中毒。常用的脱毒剂包括加氢转化脱硫催化剂、脱硫剂、脱氯剂和脱砷剂。脱毒剂亦称净化剂。

目前我国化肥生产中采用的脱毒剂均为国产，生产厂家较多，产品型号也非常多。例如，(1)加氢转化脱硫催化剂有 T201，T202，T203，T204，T205，T206，JT-1，JT-1G，JT-4，NCT201，NCT201-2 等，(2)氧化锌脱硫剂有 T302Q，T303，T304，T304-1，T305，T305-1，T306，T307，T308，T309，CT305，CT307，NCT301，NCT305，JT305，KT-3，KT310，KT311，TC-22，NT-13，QTS-01，Z919 等；(3)氧化铁脱硫剂有 T501，T502，LT503，SN-2，SN-5，SN-6，TG-2，TG-3，TG-4，TG-5，TG-F，HT，ET-1，WA-1，NCT，DNT，AS，PM，SW，LA-1-1，S57-4 等；(4)铁锰脱硫剂有 MF-1，MF-2，LS-1，SH-T511，SH-T512；(5)活性炭脱硫剂有 T101，EAC-2，EAC-3(T103)，KC-1，KC-2，KT312，SN-3，BZX，SC-5；(6)羰基硫(COS)水解催化剂有 T503，T504，T907，T909，TGH-1，TGH-2，TGH-3，TGH-3Q，SN-4，A919，QST-01，γ-906，γ-2-4，852；(7)脱砷剂有 3642，3665，JT-2，KH-03，JNM-2，K-As-2(B)；(8)脱氯剂有 T402，JT402，T403，T404，T404-1，T406，T407，T408，KT405，KT405-2，KT406，KT407，KT49，NC23-01，NC23-02，NC23-03，NC，3925；其他还有脱氧剂，脱氢剂等。由于型号太多，不能一一列出，仅选择了一些有代表性的型号列出。

02101 钴钼加氢脱硫催化剂 desulfurizating hydrogenation Co-Mo catalysts

基本配方和结构

型号	T201	T(T)203	NCT201
Co/%(质量)	1.5～2.5	>1.1	1.5～2.5
MoO_3/%(质量)	11～13	>9.9	11～13

型号	T201	T(T)203	NCT201
Na_2O/%(质量)	<0.05	<0.1	—
Cl/%(质量)	<0.05	<0.03	—
载体	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3
型号	JT201/(Z402、Z405G、Z409、Z412W、Z413W)		
Co/%			2～3
Mo_2O_3/%			11～13
Al_2O_3			余量
型号	JT-1G		JT-4
	Co-Mo		Co-Mo
	Al_2O_3		Al_2O_3 TiO_2

性状

型号	T201	T(T)203	NCT201
颜色	浅蓝	灰蓝	浅蓝
外观	条形 球形	条形	条形
尺寸/mm	$\phi3\times(4\sim10)$,$\phi3\sim\phi5$	$\phi3\times(3\sim8)$	$\phi3\times(4\sim10)$
堆密度/(kg/L)	0.6～0.8	0.7～0.8	0.75～0.85
比表面/(m^2/g)	150～250	170～250	150～250
孔容/(ml/g)	0.3～0.5	—	0.3～0.5
径向抗压强度/(N/cm)	≥80	—	≥100
磨耗率/%	<2	≤6	≤2
型号	JT201/(Z402、Z405G、Z409、Z412W、Z413W)		
外观	淡蓝色条状、球状		
尺寸/mm	条状 $\phi3\times(4\sim10)$球状 $\phi3\sim\phi5$		
堆密度(kg/L)	0.6～0.75		
比表面/(m^2/g)	160～240		
孔容/(ml/g)	>0.4		
耐压强度/(N/cm)	条状≥80		球状≥50
型号	JT-1G		JT-4
外观	灰蓝色球状		灰蓝色三叶草
尺寸/mm	$\phi2.5\sim\phi4$		$\phi2.5\times4\sim\phi10$
堆密度/(kg/L)	0.7～0.85		0.7～0.85
比表面/(m^2/g)			
侧压强度/(N/cm)	>50		≥60

制法 方法1：浸渍法 首先将已计量的活性氧化铝粉与硝酸、去离子水、助挤剂加入混捏机。经充分混捏后，送至挤条机进行挤条成型，然后将成型物料进行干燥和煅烧，即制得条形氧化铝载体。以$Co(NO_3)\cdot 6H_2O$或$CoSO_4\cdot 7H_2O$或$CoCl_2\cdot 6H_2O$与$(NH_4)_2MoO_4$为原料，按配方计量制备Co-Mo水溶液，溶入助催化剂，然后加入条形氧化铝进行浸渍。再依次经过沥干、干燥、煅烧，制得钴钼加氢脱硫催化剂。

活性氧化铝可市购，也可用以下几种方法制备：（1）偏铝酸钠（$NaAlO_2$）-硝酸法——将偏铝酸钠和硝酸在水溶液中中和成胶，然后经老化、洗涤、过滤，除尽钠离子。再干燥制得活性氧化铝粉。（2）偏铝酸钠-硫酸铝法——将偏铝酸钠和硫酸铝中和成胶，然后经老化、洗涤、过滤，除尽钠离子，浆化后再喷雾干燥制得活性氧化铝粉。（3）醇铝法——异丙醇铝在异丙醇溶液中进行水解，然后过滤、洗涤、干燥。

方法2：干混法 将按配方计量的钴、钼金属盐和活性氧化铝粉末置于球磨机中充分混合，然后添加胶粘剂、润滑剂和适量水并混合均匀，将混合料送至成型设备，压片成型，再经煅烧则得到催化剂。

使用条件

型号	T201	T(T)203	NCT201
压力/MPa	3.0～4.0	2.0～5.0	3.0～4.0
温度/℃	320～400	330～380	300～400
气空速/h^{-1}	1000～3000	—	1000～3000
加氢量/%	2～5	—	2～5
液空速/h^{-1}	1～6	4～7	1～6
（氢/油）/（V/V）	80～100	—	80～100
入口有机硫/$\times 10^{-6}$	100～200	≥20	100～300
入口有机硫/$\times 10^{-6}$	≤0.1	≤0.1	≤0.1

型号	JT201/（Z402、Z405G、Z409、Z412W、Z413W）	
压力/MPa		1～4
温度/℃		230～400
气空速/h^{-1}	1000～3000	液 1～6

型号	JT-1G	JT-4
压力/MPa	1～5	1.8～5
温度/℃	300～380	250～300
气空速/h^{-1}	1000～1500	<1000
适用原料	焦化干气等	

硫化 此三种催化剂在装入反应器后，使用前应先进行预硫化，使活性组分氧化物态转化为硫化物态，才具有催化氢解作用。硫化剂多用CS_2，硫化操作条件：气体含硫0.5%～1.0%（V%）；气空速400～600h^{-1}；压力≤0.5MPa。若对轻油脱硫，其进料含硫0.5%～1.0%（%质量分数）；氢/油600（V/V）；液空速1.0h^{-1}；压力0.5MPa。硫化温度按一定升温速率由常温逐步升至反应温度。

再生 催化剂在使用中会因积炭而导致活性逐步衰退，到一定程度需再生。原则方法是通入含氧0.5%～1.0%的过热蒸汽，或含氧0.5%的惰性气体，控制气体流量，使床层温度不超过475℃，在此条件下烧炭再生。当温度超过550℃时，钼挥发且催化剂烧结，致使失活。

中毒 砷化合物会引起催化剂永久失活，故要控制原料中砷的质量分数<100×10^{-9}；氯会引起暂时失活，应控制入口氢气中氯的体积分数<100×10^{-6}；操作中超温会使催化剂失活。

用途 加氢转化脱硫催化剂的作用是使烃类原料中的有机硫化物发生氢解反应，转化为易于脱除的硫化氢，以便进一步除去，保护下游催化剂不受毒害。下面列举一些硫化物加氢转化的反应例子：

$$C_2H_5SH + H_2 \rightleftharpoons C_2H_6 + H_2S \quad \text{（硫醇氢解）}$$

$$C_2H_5SCH_3 + 2H_2 \rightleftharpoons C_2H_6 + CH_4 + H_2S \quad \text{（硫醚氢解）}$$

$$C_2H_5SSC_2H_5 + 3H_2 \rightleftharpoons 2C_2H_6 + H_2S \quad \text{（二硫化物氢解）}$$

$$C_4H_4S + H_2 \rightleftharpoons C_4H_{10} + H_2S \quad \text{（噻吩氢解）}$$

$$COS + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2S \quad \text{（羰基硫氢解）}$$

钴钼加氢转化脱硫催化剂适用于以天然气、油田气、炼厂气和轻油为原料的化肥厂、甲醇厂、炼油厂制氢装置、加氢脱硫装置对各种烃类、气体的精脱硫等的原料脱有机硫。

Z402、Z405G、Z409用于工业制氢、氨、甲醇合成气和冶金还原

气。Z412W、Z413W 用于氨合成气、甲醇合成气。

生产厂家 盘锦辽河化工（集团）公司催化剂厂、沈阳催化剂厂、南京化学工业集团公司研究院、化工部西北化工研究院催化剂公司、江苏靖江催化剂厂、西北化工研究院和海德顺钛催化剂有限公司、山东齐鲁化工研究院等。

02102 国外钴钼加氢转化脱硫催化剂（部分） overseas desulfurizating hydrogenation Co-Mo catalysts

基本配方和结构

型号	U49-1	G35 系列	G51 系列	(41－4)～(41－7)	M8-10 系列
(国名及公司)	(美 UCI)	(美 UCI)	(美 UCI)	(英 ICI)	(德 BASF)
CoO/%(质量)	3.5	3.5	3.5	3	5
MoO_3/%(质量)	10	10	10	5	13.5
载体及其他	余额	余额	余额	余额	余额

型号	TK250	AKM	CDS-D 系列	HR304B
(国名及公司)	(丹麦 Topsoe)	(俄,新古比雪夫)	(日本触媒化成)	(法 Pro-catalyse)
CoO/%	1.5～2.5	>4	3.34－3.87	5
MoO_3/%	9～12	>12	11～12.8	13
载体及其他	余额	余额	余额	余额

性状

型号	U49-1	G35 系列	G51 系列	(41－4)～(41－7)	M8-10 系列
外观	条形	片状	条形	条形,片状	条形,片状
尺寸/mm	φ3.2	φ4.8,φ9.5	φ1.6,φ3.2	φ1.6,φ3.2,φ5.4	φ0.8～φ5
堆密度/(kg/L)	0.58	0.96～1.04	0.43	0.5～0.9	0.56～0.68
比表面/mg^{-1}	200	—	—	260	220
孔容/(ml/g)	—	—	—	0.46	0.7
径向抗压强度/(N/cm)	—	>50	60～100	—	110

型号	TK250	AKM	CDS-D 系列	HR304B
外观	空心条形	条形	条形	条形
尺寸/mm	φ5/2.2	φ5	φ1.6	φ1.6
堆密度/(kg/L)	—	0.64～0.74	0.58～0.67	0.65

型号	TK250	AKM	CDS-D 系列	HR304B
比表面/mg^{-1}	220	>100	249～276	300
孔容/(ml/g)	—	0.4	0.62	0.53
径向抗压强度/(N/cm)	—	>110	82	130

制法 有浸渍法和干混法，参见国产钴钼加氢脱硫催化剂的制法。

使用条件

型号	C49-1	G35 系列	G51 系列	(41－4)-(41－7)	M8-10 系列
压力/MPa	0.7～5.0	0.7～7.0	0.7～7.0	0.1～7.0	—
温度/℃	260～425	315～400	315～400	300～450	200～400
气空速/h^{-1}	1000～2000	—	—	—	—
液空速/h^{-1}	0.5～8	0.5～20	0.5～6	0.2～5	—
(氢/油)/(V/V)		—	85～267	—	—
入口硫/$\times10^{-6}$	—	<200	—	—	—

型号	TK250	AKM	CDS-D 系列	HR304B
压力/MPa	2.5～3.5	—	2.0～5.0	3.0～3.5
温度/℃	350～380	—	300～360	350～400
气空速/h^{-1}	—	—	—	—
液空速/h^{-1}	4～7	—	2～8.5	1.8～2
(氢/油)/(V/V)	60～75	—	60	—
入口硫/$\times10^{-6}$	300	<200	—	—

硫化、再生和失活等说明请参见国产钴钼加氢转化脱硫催化剂的正常使用和说明。

用途 参见国产钴钼加氢脱硫催化剂的用途。

生产厂家 见各型号对应的公司名称。

02103 镍钼加氢转化脱硫催化剂 desulfurizating hydrogenation Ni-Mo catalysts

基本配方和结构

型号	T205A/T205B	T204	JT-1/JT 2
Ni/%(质量)	—	>1.1	2～3(另含 1%Co)
MoO_3/%(质量)	Ni(Co)-Mo	>9.9	10～13
Na_2O/%(质量)	—	<0.1	—

型号	T205A/T205B	T204	JT-1/JT-2
Cl/%(质量)	-	<0.03	-
载体	TiO_2	Al_2O_3	Al_2O_3

性状

型号	T205A/T205B	T204	JT-1/JT-2
外观	条状或三叶草状	黄色条	灰蓝色球
尺寸/mm	ϕ3×(5~10)	ϕ3×(3~8)	ϕ2~ϕ4
堆密度/(kg/L)	0.8~1.0	0.7~0.8	0.7~0.85
比表面/(m^2/g)		170~200	>150
孔容/(ml/g)		—	—
径向抗压强度/(N/cm)	≥70	—	≥50(点压)

制法 方法1：干混法 将按配方计量好的铁、钼金属盐和活性 γ-Al_2O_3 粉末置于球磨机混匀，然后向混合料中添加胶粘剂、润滑剂和适量水，再次混合均匀后压制成片剂，最后煅烧制得铁钼催化剂。

方法2：浸渍法 预先制备出条形或球形活性 γ-Al_2O_3 载体，再将硝酸镍和钼酸铵（JT-1型还需加硝酸钴）与脱盐水配制成一定浓度的溶液。将载体浸泡在此溶液中，一定时间后捞出，再经沥干、干燥、煅烧、制得镍钼加氢催化剂。

使用条件

型号	T205A/T205B	T204	JT-1/JT-2
压力/MPa	2~3	2.0~5.0	2.0~4.0
温度/℃	350~380	330~380	300~400
气空速/h^{-1}	1000	—	1000~3000
液空速/h^{-1}	-	4~7	1~6
入口硫/$\times10^{-6}$		—	1000
出口硫/$\times10^{-6}$		<0.1	≤50
适用原料	焦化干气等		

用途 镍钼或铁钼加氢脱硫催化剂的作用与钴钼加氢脱硫催化剂相同，也是使有机硫氢解，转变成易于脱除的硫化氢，以便进一步除去，从而达到净化烃类原料的目的。

镍钼加氢脱硫催化剂（T204、JT-1）适用于天然气、炼厂气、水

煤气和轻油等原料的加氢转化。JT-2 适用于原料气中有机硫、氮的加氢转化。

生产厂家 盘锦辽河化工集团公司催化剂厂，南京化学工业集团公司研究院，化工部西北化工研究院催化剂公司、西北化工研究院和海德顺钛催化剂有限公司等。

02104 国外镍钼加氢转化脱硫催化剂(部分) overseas desulfurizating hydrogenation Ni-Mo catalysts

基本配方和结构

型号	C20-7-02	C20-8	61-1
(国名及公司)	(美 UCI)	(美 UCI)	(英 ICI)
NiO/%	3～4	4.5	—
MoO_3/%	13～15	19	—
载体及其他	余额	余额	—

型号	M8-20	TK-231	TK-251	HR346
(国名及公司)	(德 BASF)	(丹麦 Topsoe)		(法 Pro-Catalyse)
NiO/%(质量)	4	1.5～2.5	1.5～2.5	--
MoO_3/%(质量)	10	9～12	9～12	—
载体及其他	余额	余额	余额	余额

性状

型号	C20-7-02	C20-8	61-1
外观	条状	条状	条状
尺寸/mm	ϕ1.6,ϕ3.2	ϕ1.6,ϕ3.2	□3.2[b]
堆密度/(kg/L)	0.54～0.64	0.58	0.53
比表面/(m^2/g)	150～250	—	—
孔容/(ml/g)	0.6～0.7	—	—
径向抗压强度/(N/cm)	>68, >91	—	—

注：表中的□表示几何尺寸，全书同。特殊说明除外。

型号	M8-20	TK-231	TK-251	HR346
外观	条状	条状	空心条	条状
尺寸/mm	ϕ1.5,ϕ3	□3	□5×12	□1.2
堆密度/(kg/L)	0.59～0.61	0.7～0.8	—	0.7
比表面/(m^2/g)	200	170～200	—	—

型号	M8-20	TK-231	TK-251	HR346
孔容/(ml/g)	0.5	—	—	0.45
径向抗压强度/(N/cm)	150	—	—	100

注：表中的□表示几何尺寸，全书同。特殊说明除外。

制法 参见钴钼加氢脱硫催化剂的制法。

使用条件

型号	C20-7-02	C20-8	61-1
压力/MPa	0.7～5.0	0.7～5.0	0.1～7.0
温度/℃	260～400	260～400	200～450
液空速/h^{-1}	0.5～5	0.5～5	—
(氢/油)/(V/V)	—	—	—

型号	M8-20	TK-231	TK-251	HR346
压力/MPa	—	2.5～3.5	2.5～3.5	—
温度/℃	280～400	350～380	350～380	—
液空速/h^{-1}	—	4～7	4～7	—
(氢/油)/(V/V)	—	60～70	60～70	—

此类催化剂需预硫化后才具有活性。硫化、再生和失活情况参见钴钼加氢转化脱硫催化剂。

用途 镍钼加氢转化脱硫催化剂的作用与钴钼加氢转化脱硫催化剂相同，但主要用于液态烃的有机硫脱除，也可脱除气态烃原料中的有机硫。

生产厂家 见对应的各公司名称。

02105 其他加氢脱硫催化剂 other desulfurizating hydrogenation catalysts

基本配方和结构

型号	T202	RN1
Fe/%(质量)	1.4～2.1	
MoO_3/%(质量)	7.5～10	
WO_3/%(质量)		21
NiO/%(质量)		2
载体	Al_2O_3	Al_2O_3 余量

型号	T202	RN1
(氢/油)/(V/V)		350
入口硫/×10⁻⁶	200～300	
出口硫/×10⁻⁶	(转化率>93%)	
型号	481-3	FH-5
压力/MPa	0.45	2～4
温度/℃	270	220～380
气空速/h⁻¹	1.2	500～2000

用途 用于加氢脱硫，RN1 用于低压加氢精制脱硫。铁钼加氢脱硫催化剂（T202）主要用于 CO≤8%，烯烃≤5%的焦炉气中有机硫的加氢转化，4813 用于煤油加氢精制。

生产厂家 盘锦辽河化工集团公司催化剂厂、南京化学工业集团公司研究院、化工部西北化工研究院催化剂公司、南化集团公司催化剂厂（安庆石化公司、金陵石化化肥厂、南北集团三家开发）等。

02106 氧化锌脱硫剂 zinc oxide desulphurizer

基本配方和结构

型号	T302Q	T303	T304	T304-1	T305
ZnO/%(质量)	80～85	>98	≥90	≥98	>95
MgO/%(质量)	6～8	—	6～8	—	—
MnO_2/%(质量)	3～5.3	无	无	无	无
型号	T306	T307	NCT305	NCT310	KT311
ZnO/%(质量)	≥90	≥90	>95	≥80	≥85
MgO/%(质量)	—	—	—	—	—

另外还有：JT-305，JT305-1，PT701，PT702，PT703，F302，QTS01，CT304，CT305，XT-1 等型号。

性状

型号	T302Q	T303	T304	T304-1	T305
外观	深灰球状	白色条状	白色条状	白色条状	白.灰条状
尺寸/mm	φ3.5～φ4.5	φ4×(4～6)	φ5×(5～15)	φ4×(4～15)	φ4×(4～16)
堆密度/(kg/L)	0.8～1.0	1.3～1.45	1.15～1.35	1.15～1.35	1.1～1.3
比表面/(m^2/g)	35～60	—	22	—	20～30

型号	T302Q	T303	T304	T304-1	T305
径向抗压强度/(N/cm)	≥20	>20	≥25	≥40	≥40
穿透硫容/(g/100g)	≥20	≥21	≥20	≥22	≥22

型号	T306	T307	NCT305	NCT310	KT311
外观	灰白条状	灰白条状	浅黄条状	浅黄条状	灰白条状
尺寸/mm	φ5×(5～15)	φ5×(5～15)	φ4×(5～15)	φ4×(4～15)	φ5×(5～15)
堆密度/(kg/L)	1.1～1.3	1.1～1.3	1.2～1.3	约1.0	0.9～1.0
比表面/(m^2/g)	30～50	30～50	30	约100	20～30
径向抗压强度/(N/cm)	≥50	≥50	≥40	≥50	≥50
穿透硫容/(g/100g)	≥10	10	≥22	≥10	≥25

型号	JT 305	JT305-1	F302	QTS01
外观	浅黄色条状物		灰白球状	灰色条状
尺寸/mm	φ4×(4～10)	φ3.5×(4～15)	φ3.5～4.0	φ4×(5～10)
堆密度/(kg/L)	1.1～1.3	<0.9～1.2	1～1.1	0.8～0.95
比表面/(m^2/g)	20～40	30～50	30～38	60～100
孔容/(ml/g)	0.3～0.5	>0.3	0.28	

型号	CT304	CT305	XT-1
外观	白色条状	白色条状	圆柱形
尺寸/mm	φ(4～5)·(4～15)	φ(4～5)×(4～15)	φ6×(8～10)
堆密度/(kg/L)	1.2～1.4	1.2～1.3	1～1.1
比表面/(m^2/g)	160～240		

制法 方法1：沉淀法 将锌锭完全溶解于硫酸中，然后在搅拌下加入纯碱（Na_2CO_3）中和，生成沉淀。再经过过滤、洗涤、干燥，按比例加入氧化镁和锰矿粉，混合均匀后成型。最后于350～480℃焙烧，制得氧化锌脱硫剂。成型方法有挤条和滚球两种。

方法2：混合法 将氧化锌（或碳酸锌）、氧化镁及氧化锰等与发孔剂、化学糊糊混合，然后经滚球或挤条成型，于350～480℃焙烧得到成品。

使用条件

型号	T302Q	T303	T304	T304-1	T305
压力/MPa	≥2.0	0.1～5.0	4.0	0.1～4.0	0.1～4.0
温度/℃	200～350	200～400	350～380	350～400	200～400
气空速/h^{-1}	≤3000	—	<3000	<3000	1000～3000

保护下游过程所用之催化剂不受硫化物毒害。

JT305-1 主要用于常温下氧化脱硫。PT701 用于中小型合成氨厂，属于转吸收型固体脱硫催化剂，有时也用于天然气、油田气及加氢转化后的焦炉气精脱硫。PT702 用于石油精制、合成氨甲醇、有机合成和化学纤维等工业原料气的净化剂。它属于硫吸附剂，也可与 Co，Mo 加氢转化剂联用。PT703 属于低温脱硫剂，脱硫精度高。用于甲醇合成气、氢氮气、气态烃、液态烃、合成气等微量硫脱除。F302 用于合成气或制氢装置的净化系统，也可作 CO 低温变换和 CH_4 催化剂。QTS01 催化剂是常温脱硫剂，用在合成气、天然气、烃类气，H，N 气的变换气的净化。CT304 用于天然气、油田伴生气的 H_2S 精脱。CT305 用于合成氨、甲醇、石油精制等微量硫的脱除，也是低变催化剂的保护剂。

生产厂家 化工部西北化工研究院催化剂公司、南京化学工业集团公司催化剂厂、齐鲁石化公司研究院、四川化工集团公司催化剂厂、江苏靖江催化剂厂、江西萍乡市化工填料有限公司等。

02107 国外氧化锌脱硫剂 overseas zinc oxide desulphurizer

基本配方和结构

型号	C7-2	G-72D	R5-10	HTZ-4	N748
(国名及公司)	(美 UCI)	(美 UCI)	(德 BASF)	(丹麦 Topsoe)	(日挥化学)
ZnO/%(质量)	80	90	95	87～90	82
其他组分	Al_2O_3	CuO	—	Al_2O_3, TiO_2	—
型号	32-4	75-1	GPH3	ГИАП-10-2	ГИАП-34-Н
(国名及公司)	(英 ICI)	(英 ICI)	(法 Procatalyse)	(俄 ГИАП)	(俄 ГИАП)
ZnO/%(质量)	—	—	100	75	90
其他组分	—	—	0	CuO	MgO

性状

型号	C7-2	G-72D	R5-10	HTZ-4	N748
外观	片状	条状	条状	条状	条状
尺寸/mm	ϕ4.8	ϕ4.8	ϕ4	ϕ4	ϕ5
堆密度/(kg/L)	1.12	1.04	1.4	1.2	1.0
比表面/(m^2/g)	30	41	18.7	37	—

型号	C7-2	G-72D	R5-10	HTZ-4	N748
径向抗压强度/(N/cm)	68	68	20～30	—	50
保护转化硫容/%	18	17～20	25	34	25
保护低变硫容/%	1	10	-	--	-

型号	32-4	75-1	GPH3	ГИАП-10-2	ГИАП-34-Н
外观	球形	球形	片状	片状	条状
尺寸/mm	ϕ3～ϕ4.8	ϕ3.2～ϕ5	ϕ11×4	ϕ4	ϕ5
堆密度/(kg/L)	1.1	0.84	1.0	1.4	1.2～1.3
比表面/(m^2/g)	25	85	—	45	35
径向抗压强度/(N/cm)	—	--	150	—	80～140
保护转化硫容/%	18～25	20	—	18	25
保护低变硫容/%	10	—	—	—	—

制法 制备方法有沉淀法和混合法，请参见国产氧化锌脱硫剂的制法。

使用条件

型号	C7-2	G-72D	R5-10	HTZ-4	N748
压力/MPa	0.1～5.0	0.1～5.0	0.1～5.0	—	0.1～4.0
温度/℃	200～450	350～450	200～400	300～400	320～400
空速/h^{-1}	1000～1500	—	—	—	—

型号	32-4	75-1	GPH3	ГИАП-10-2	ГИАП-34-Н
压力/MPa	0.1～5.0	--	—	0.1～2.0	0.2～4.9
温度/℃	350～450	150	—	400	360～380
空速/h^{-1}	—	—	—	2000	1000～1500

用途 用于合成氨、合成甲醇厂及制氢装置等的原料天然气、油田气、炼厂气或轻油的精脱硫。若原料中有机硫种类复杂时，常用加氢转化催化剂与氧化锌脱硫剂串联方式脱硫，可使原料净化到含硫低于0.3×10^{-6}，最佳可达0.05×10^{-6}。

生产厂家 见各型号的国名和公司名。

02108 氧化铁脱硫剂 iron oxide desulphurizer

基本配方和结构

型号	T501(原 SN-1)	T502(原 ST-801)	SN-2	LA-1-1
Fe_2O_3/%(质量)	≥80	50	>55	>90

即得成品。

使用条件

型号	T501	T502	SN-2	LA-1-1
压力/MPa	0.1～0.8	0.1～3.0	0.1～4.0	0.1～4.0
温度/℃	20～40	20～40	200～350	250～300
空速/h^{-1}	800～1500	300～800	1000～2000	1000～2000
水蒸气	—	10%	汽/气 0.3～0.6	<5%
入口 $H_2S/\times10^{-6}$	—	1600～1800	COS 1～30	1400～2000
出口 $H_2S/\times10^{-6}$	—	12～20	COS 3	0.5

型号	NCT	TG-4	TG-5	HT
压力/MPa	0.1～3.0	0.1～2.0	0.1～3.0	0.1～2.0
温度/℃	5～50	5～50	20～40	10～45
空速/h^{-1}	常压下 300～750 加压下 750～1500	300～1500	500～1000	常压下 100～500 加压下 500～1000
水蒸气	1～6	湿度 90%	湿度 90%	汽/气 0.5～8.5
入口 $H_2S/\times10^{-6}$	≤200	—	—	—
出口 $H_2S/\times10^{-6}$	—	1	1	1

型号	T701	DNT	WA-1
压力/MPa	常压～2	常压或加压	
温度/℃	5～40	20～130	20～30
气空速/h^{-1}	常压 300～700 加压 700～1500	200～400 加压 600～800	300～400

中温氧化铁脱硫剂在使用前需要用 H_2 还原成 Fe_3O_4。使用后可再生。常温型在 20～60℃ 下通含水蒸气的空气再生，使硫化铁转化为氧化铁；中温型在 450～550℃ 进行再生；TG-5 型不再生。

用途 广泛用于中、小型合成氨厂碳化气脱硫，以降低铜氨液消耗，也可用于联醇气脱硫和石油化工厂、城市煤气等各类含硫气体的干法脱硫。常温脱硫剂为水合氧化铁（FeOOH），可以脱除 H_2S、RSH，例如

$$2FeOOH + 3H_2S = Fe_2S_3 \cdot H_2O + 3H_2O - Q$$

中温（200～400℃）脱硫剂为 Fe_2O_3，使用时预先用 H_2 还原成 Fe_3O_4，才能转化吸收 H_2S、RSH、COS、CS_2 等，例如

$$Fe_3O_4 + 4H_2S \longrightarrow 2FeS + FeS_2 + 4H_2O$$

高温（>500℃）下用活性金属铁脱硫，反应为

$$Fe + H_2S \longrightarrow FeS + H_2$$

DNT是常温脱硫剂。WA-1用于中小合成氨厂、城市煤气、灯泡厂煤气净化。

生产厂家 南化集团公司催化剂厂、上海化工研究院、太原工业大学、四川天然气化工研究所、江苏靖江催化剂厂、湖北应用化学研究所、上海煤气公司，扬州催化剂总厂等。

02109 国外氧化铁脱硫剂(部分) overseas iron oxide desulphurizer

基本配方和结构

型号	C9-2	G-42	BRM	FX	CDD-12A
(国名及公司)	(美 UCI)	(美 UCI)	(BASF)	(日大阪窑业)	(印度 PDIL)
Fe_2O_3/%(质量分数)	79	大量	大量	大量	大量
促进剂	10% Cr_2O_3 11% Na_2CO_3	—	—	—	Na_2CO_3

性状

型号	C9-2	G-42	BRM	FX	CDD-12A
外观	片状	圆柱状	圆柱状	球形	条形
尺寸/mm	□9.5×4.8	□6.4×6.4	□10×10	□2.3~□3.3	□9
堆密度/(kg/L)	—	1.44	1.4~1.6	1.55	0.7~0.9
硫容/%	—	2	—	7.7	39

制法 参见国产氧化铁脱硫剂的制法

使用条件

型号	C9-2	G-42	BRM	FX	CDD-12A
温度/℃	345~455	250~350	350	—	30~35
出口硫/$\times 10^{-6}$	—	1	—	1	1

用途 参见国产氧化铁脱硫剂的用途。

生产厂家 见各型号的公司名。

02110 铁锰脱硫剂 Fe-Mn desulphurizer

基本配方和结构

型号	MF-1	MF-2
(Fe+Mn+Zn)/%(质量分数)	≥35	≥45

性状

型号	MF-1	MF-2
外观	片,圆柱状	片,圆柱状
尺寸/mm	$\phi9\times5$, $\phi5\times5$	$\phi9\times5$, $\phi5\times5$
堆密度/(kg/L)	1.35～1.40	1.20～1.30
径向抗压强度/(N/cm)	≥80	≥80
磨耗率/%	≤14	≤15
硫容/%(质量)	5～7	≥11

使用条件

型号	MF-1	MF-2
压力/MPa	0.1～4.0	0.1～4.0
温度/℃	350～400	350～400
空速/h^{-1}	100～1000	100～1000
入口硫/$\times10^{-6}$	70～100	70～100
出口硫/$\times10^{-6}$	<0.1	<0.1

还原：使用前以氮（或净化后的原料气）中添加（1～5)%的氢为还原介质，在压力0.1～0.2MPa，空速300～500h^{-1}，最高温度不超过450℃下进行还原，使其具有转化脱硫性能。

用途 用于中型合成氨厂原料气的二级脱硫（精脱硫），可使RSH、RSR、COS、CS_2等有机硫氢解转化为H_2S，并吸收其生成固态FeS和MnS，从而达到原料气脱硫净化目的。在铁锰脱硫之前的一级脱硫一般用湿法脱硫。

生产厂家 化工部西南化工研究院。

02111 脱氯剂 dechlorinating agent

基本配方和结构

型号	NC2302	T402	T403
主要组分	ZnO+CaO	CaO	CaO/活性炭
型号	JT402	JT408	JT409
活性组分	(14～16)%		

性状

型号	NC2302	T402	T403
外观	灰黑圆柱体	白色球状	黑色条状

型号	NC2302	T402	T403
尺寸/mm	ϕ(4～5.2)×(3.5～6)	ϕ3～ϕ5	ϕ4×(4～6)
堆密度/(kg/L)	1.0～1.4	0.8～1.1	0.5～0.7
径向抗压强度/(N/cm)	≥120	>30	—
磨耗率/%	—	—	≤30
氯容/%	≥7.0	≥14	≥8

型号	JT402	JT408	JT409
外观	白色球体	淡绿色球状	灰白色条状
尺寸/mm	ϕ3～ϕ5	ϕ2～ϕ3 或 ϕ3～ϕ4	ϕ2.5～ϕ3.5
堆密度/(kg/L)	0.8～1.0	0.75(kg/L)	0.70(g/L)
比表面/(m^2/g)	>40	≥150	□80
孔容/(ml/g)	0.2～0.3	>0.4	>0.4

制法 NC2302 的制法分别用工业硝酸将锌锭和氧化钙完全溶化，置入中和槽，用碱液中和生成沉淀。将上层清液吸去，冲洗沉淀，然后经过滤、干燥、混合、成型、过筛制得成品。

使用条件

型号	NC2302	T402	T403
压力/MPa	0.1～2.0	0.1～2.8	0.1～2.8
温度/℃	200～450	190～290	室温
气空速/h^{-1}	500～3000	2500～5000	2500～5000
液空速/h^{-1}	5～20	—	5
入口氯/×10^{-6}	—	1～1000	—
出口氯/×10^{-6}	<0.1	0.1	0.2

型号	JT402	JT408	JT409
压力/MPa	1～5	常压～5	常压～5
温度/℃	80～400	5～50	5～50
气空速/h^{-1}	1000～3000	500～3000	500～2000
		液 1～5	液 1～5
穿透氯容/%	10～20	20～25	25～35

脱氯剂必须置于脱硫剂之前，先脱氯后脱硫。若脱有机氯时，则脱氯剂应放在钴钼加氢转化催化剂与脱硫剂之间。

用途 用于天然气、石脑油、合成气、氢氮气等气体中的脱氯化氢，以保护下游催化剂不受毒害。如果气体中含有有机氯，则应先经钴钼

加氢催化剂使其转化为氯化氢，然后才用脱氯剂吸收氯化氢。

生产厂家 南京化学工业集团公司催化剂厂、化工部西北化工研究院(原化工部化肥研究所)、江苏靖江催化剂厂等。

02112 国外脱氯剂(部分) overseas dechlorinating agent

基本配方和结构

型号	C117-1-02	59-3	ПКЯ
(国名及公司)	(美 UCI)	(英 ICI)	(俄 ГИАП)
ZnO/%(质量)	77	大量	65
CuO/%(质量)	4	一定量	9
Al_2O_3/%(质量)	—	一定量	—
Na_2O/%(质量)	—	一定量	—

性状

型号	C117-1-02	59-3	ПКЯ
外观	条状	球状	片状
尺寸/mm	ϕ4.8	ϕ4.8～ϕ9.5	ϕ6
堆密度/(kg/L)	1.04～1.2	0.8～0.88	1.28
径向抗压强度/(N/cm)	68	—	—
氯容/%	2	5～10	12

使用条件

型号	C117-1-02	59-3	ПКЯ
压力/MPa	0.1～4.2	0.1～5.0	—
温度/℃	180～190	315～370	190
空速/h^{-1}	20000	—	2500
入口氯/$\times10^{-6}$	—	>10	>1000
出口氯/$\times10^{-6}$	<0.5	<0.2	<0.1

用途 参见国产脱氯剂。

生产厂家 见各型号的公司名。

02113 脱砷剂 dearsenifing agent

基本配方和结构

型号	3642	3665
$CuSO_4$/%(质量分数)	4～5	

02114 JT203 脱砷催化剂 JT203 dearsenifing agent

其他名称 JT203 加氢脱硫脱砷催化剂

化学组成

N_i/%	2.5～3.5
MoO_3/%	1.3～17
Al_2O_3/%	属于 NiO-MoO-Al_2O_3 型

性状

外观	黄色球状
尺寸/mm	ϕ2～ϕ4
堆密度/kg·L^{-1}	0.6～0.75
比表面/(m^2/g)	150～250
孔容/(ml/g)	0.4～0.6

使用条件

压力/MPa	1～4	
温度/℃	300～400	
气空速/h^{-1}	1000～2000	液 1～5

开车需预硫化

用途 适用于各类大型合成氨厂、炼油厂原料的净化精制。该催化剂对有机硫、烯烃、氧和有机氮化物有较强的加氢转化能力。

生产厂家 江苏靖江催化剂厂。

第二节 烃类蒸汽转化催化剂

天然气、油田气和石油加工的炼厂气和石脑油（轻油）等烃类化合物均可作为制造氢气、合成氨原料气、城市煤气以及一碳化工合成过程的原料气（即合成气）的初始原料。基本加工方法是使水蒸气与烃类化合物在催化剂作用及一定温度、压力条件下，转化成含 H_2、CO、CO_2 等气体的混合气。此反应过程被称为烃类蒸汽转化过程。此过程必须采用转化催化剂。

国内外的烃类蒸汽转化催化剂的种类相当多，许多公司厂家均有自己的品牌型号产品出售。我国自 1956 年开始研制和开发，至今已能生产适用于各种烃类的蒸汽转化他化剂。计有：（1）CN-14 型预转化催化剂；（2）天然气一段转化催化剂（型号有 Z102、Z103、Z107、

Z108、Z108-1、Z109-1Y、Z109-2Y、Z110、Z111、Z112-1Q、Z112-2Q、Z412W、Z413W、CN-16、CN-23等）；（3）天然气二段转化催化剂（型号有Z203、Z203-1、Z204、Z205、Z206、CZ-4、CZ-5、CN-17、CN-20等）；（4）轻油转化催化剂（型号有Z402、Z403H、Z404、Z405G、Z409等，还有CZ86-1、CZ86-2在开发中）；（5）炼厂气转化催化剂Z301；（6）乙炔尾气转化催化剂CN-8，等等。它们的主要活性组分是镍，因采用的载体、助剂（或促进剂）、制造工艺、外形及适用对象等存在区别，故而出现不同型号。

国外自1927年研制成功烃类蒸汽转化催化剂以来，很多化工公司都能生产或出售，主要的大公司有英国的ICI、美国的UCI、丹麦Topsoe、德国的BASF、法国的Pro-catalyse、APC等，各公司均生产系列的不同型号产品。

今年来新型烃类蒸汽转化催化剂的研制、开发方向是低镍，大几何表面，低水碳比节能型催化剂。通过采用新型载体材料、添加新的助剂（促进剂）、改变催化剂颗粒外形、创造新的制备工艺等措施，改善催化剂的活性、抗结碳性和热稳定性等性能。

02201 天然气一段蒸汽转化催化剂 primary natural gas steam reforming catalysts

其他名称 一段转化催化剂

基本配方和结构

型号	Z102	Z107	Z108-1	Z109-1Y
NiO/%（质量）	14.5	14～16	≥15	≥12
K_2O+Na_2O/%（质量）	0.25	≤0.2	<0.1	0.2
SiO_2/%（质量）	约2.0	≤0.2	≤0.2	0.2
CaO/%（质量）	约15			
Al_2O_3/%（质量）	48～50	约84	约85	约85

型号	Z109-2Y	Z110Y	Z111Y	CN-16
NiO/%（质量）	11～12	14～16	≥14	≥14
K_2O+Na_2O/%（质量）		≤0.2	≤0.2	≤0.2
REO[①]/%（质量）	0.1～3.0		2～5	
SiO_2/%（质量）		≤0.2	≤0.2	≤0.2
Al_2O_3/%（质量）	约85	约84	>80	约83

体置入浸渍液，一定时间后捞出吸饱溶液的载体，冲洗表面，置于加热炉中，加热分解硝酸盐。然后再将分解后物料进行第二次浸渍，再重复上述操作，最后筛分、包装得成品。预先成型的载体经高温烧结，具有足够机械强度，故此类催化剂属于烧结型烃类蒸汽转化催化剂。

方法 2：将 Al_2O_3 和适量石墨在球磨机中研磨，然后送至成型机压制成所需形状，再经高温烧结制得载体。将载体置入浓硝酸镍溶液中浸渍，吸饱后捞出、沥干、加热分解，可制得不含稀土的烧结型烃类蒸汽转化催化剂。

方法 3：在沉淀槽中置入硝酸镍、硝酸铝溶液，加入纯碱（Na_2CO_3）中和生成沉淀。静置后倾去清液，用脱盐水（无离子水）反复洗涤数次，直至清液中无钠离子为止。然后过滤、干燥、焙烧分解，再置于混料器中，加入高铝水泥和适量石墨，混合均匀后压制成型，最后用水或蒸汽养护，待水泥固化后即为成品。此类催化剂属于粘结型烃类蒸汽转化催化剂。

使用条件

型号	Z102	Z107	Z108-1	Z109-1Y
压力/MPa	0.1～2.4	约 3.5	1.0～5.0	0.1～4.0
温度⑤/℃	450～780	520～800	430～850	450～850
碳空速/h^{-1}	750～900	1800	≤1800	500～2500
(H_2/C)/(mol/mol)	3.1～3.3	3.5	3～5	3～6
出口 CH_4/V%	≤13.5	—	6～10	—

型号	Z109-2Y	Z110Y	Z111Y	CN-16
压力/MPa	0.1～4.0	≤4.5	≤4.5	0.1～3.5
温度⑤/℃	450～850	450～1000	400～860	400～1000
碳空速/h^{-1}	500～2500	500～2000	500～2000	—
(H_2/C)/(mol/mol)	3～6	≥3	≥2.5	2.5～4.0
出口 CH_4/V%	—	—	—	—

型号	Z112-1Q	Z112-2Q	川-4	Z412W Z413W
压力/MPa	0.7～4.0	0.7～4.0	0.1～4.0	0.1～3.5
温度⑤/℃	450～850	450～850	450～850	500～850
碳空速/h^{-1}	500～2500	500～2500	500～2500	500～2000

型号	Z112-1Q	Z112-2Q	川-4	Z412W Z413W
$(H_2/C)/(mol/mol)$	≥2.5	≥2.5	3～6	4
出口 $CH_4/V\%$	≤12	≤12	—	—

① REO 代表稀土氧化物；② 第 2 个 ϕ 表示环的内径；③ 短横后面的数字表示小孔数目，短横前的 ϕ 表示小孔直径；④ 通常每颗催化剂的破碎强度；⑤ 转化反应管的入口温度一般为 450～500℃，出口温度为 780～850℃。

正常使用温度指的是催化剂的适用范围，实际上，一段转化反应器（管式转化炉）的入口温度控制在 450～500℃，过高则 CH_4 易裂解析炭。而出口温度要控制在 780～850℃，以保证转化出口气中残余 CH_4 含量低。

还原　使用前要将氧化镍还原成金属镍微晶才具有催化活性。还原气可以是氢氮混合气，或气态氨或甲醇（在催化剂床层中加热可分解产生含氢气体），在工业装置中，此类催化剂的还原操作是先通水蒸气升温，然后逐步添加天然气和含氢气体开始还原，以一定速率升温至 500℃，保持温度，及 $H_2O/CH_4=4.8$，压力 0.5～0.8MPa 直至还原完成。还原后的催化剂不能接触空气，否则会自燃放热，烧毁催化剂和设备。

钝化　在转化系统停车时，应先对催化剂进行钝化处理，才能打开设备进行检修或更换催化剂。钝化操作是在停车降压后，待温度降到 700℃左右时，切断天然气，保持水蒸气使金属镍逐渐氧化成氧化镍。钝化完成后，待温度降至200～250℃时小心缓慢添加空气，严格观察温度使保持平稳下降，直至完成气体置换，才停止供蒸汽。

结炭　CH_4 等烃类及 CO 在高温下均可能发生析碳副反应，如果操作条件不宜，或操作不当，会造成严重析碳，这些碳沉积在催化剂上称为结炭。严重结炭会造成催化剂活性降低，出现催化床层局部过热、热带、红管现象，以及催化剂粉碎使床层阻力增加，最后迫使停车，损失重大。轻微结炭后可用水蒸气（或加少量空气）烧炭，但对催化剂性能和转化管寿命有影响，不宜多用。

中毒　硫、氯、砷的化合物是镍催化剂的主要毒物，中毒后活性降低或完全丧失活性，烃类原料在高温下严重裂解析碳，导致事故发生。因此原料要高度净化，一般要求硫含量 $<0.3\times10^{-6}$。

用途　用于以甲烷为主的气态饱和烃（天然气、油田气、焦炉气中的

型号	C11-9-02	C11-9-09	G-90C	G1-25S
尺寸/mm	ϕ16/ϕ6.5[①]×16/10	□16×6.5	□16/□6[①]×16/10	□16/□8[①]×16
堆密度/(kg/L)	1.12～1.28	1.04～1.2	0.88～1.0	1.0～1.1
比表面/(m^2/g)	5～15	1.5～5	—	5
孔容/(ml/g)	0.2～0.3	—	—	—
抗压强度/(N/颗)				
还原前	400	360	1150	—
还原后	340～390	310	1050	—

型号	57-1	57-3	57-5S	RG_5C
外观	拉西环	4孔圆柱体	拉西环	带沟槽的圆柱体
尺寸/mm	ϕ16/ϕ6[①]×16/10	□16×16×□5-4[②]	ϕ17/ϕ8[①]×16	□15×15
堆密度/(kg/L)	1.1	1.0	1.1	1.33
比表面/(m^2/g)	107	15	—	1.4
孔容/(ml/g)	0.17	0.21	—	0.11
抗压强度/(N/颗)				
还原前	600	600	—	3000
还原后	—	480	—	—

型号	RKS-1	RKG	R67-7H	ГИАП-16
外观	拉西环	拉西环	7孔圆柱体	拉西环
尺寸/mm	ϕ19/ϕ9[①]×19/15	□16/□6.5[①]×16	□17×10×□3.5-7[②]	ϕ15/ϕ6[①]×10
堆密度/(kg/L)	0.96～1.02	—	0.9	1.0～1.2
比表面/(m^2/g)	—	—	40～50	50～80
孔容/(ml/g)	—	—	—	—
抗压强度/(N/颗)				
还原前	500	450	—	—
还原后	—	—	—	—

制法 主要有两种制备方法，其一为将活性组分负载于预先成型并烧结的载体上的浸渍法；其二为将活性组分与高铝水泥混合、成型、养护固化的粘结法。具体请参见国产同类产品。

使用条件

型号	C11-9-02	C11-9-09	G-90C	G1-25S
压力/MPa	0.1～3.9	3.9	0.1～3.9	—
温度[③]/℃	600～1000	770	840	600～1200
(H_2O/C)/(mol/mol)	2～6	4.2	>2	—

型号	57-1	57-3	57-5S	RG_5C
压力/MPa	0.1～3.4	0.1～3.4	0.1～3.4	0.1～4.0
温度③/℃	850～900	850～900	850～900	800
(H_2O/C)/(mol/mol)	2.5～8	≥2	2.5～8	3.0～3.5
型号	RKS-1	RKG	R67-7H	ГИАП-16
压力/MPa	0.1～3.9	2.3	—	3.5～4.0
温度①/℃	425～1350	810～860	780～830	825
(H_2O/C)/(mol/mol)	>2	—	—	3.7～4.0

① 第2个φ表示为环的内径；② 短横后面的数字表示小孔数目，短横前的φ表示小孔直径；③ 转化反应管的入口温度一般为450～500℃，出口温度为780～850℃。

此类催化剂的还原、钝化、结炭、中毒、再生等参见国产天然气一段蒸汽转化催化剂。

用途 见国产天然气一段蒸汽转化催化剂的用途。

生产厂家 见各型号对应的国名和公司名。

02203 烃类二段蒸汽转化催化剂 secondary hydrocarbon steam reforming catalysts

基本配方和结构

型号	Z203-1	Z204	Z205	Z206
NiO/%(质量)	≥13	≥14	5～7	≥12
CaO/%(质量)	—	约10	约3.5	约3
SiO_2/%(质量)	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
K_2O+Na_2O/%(质量)	≤0.14	≤0.2	≤0.2	≤0.2
Al_2O_3/%(质量)	≥85	约55	约90	约83

型号	CZ-4	CZ-5	CN-17	CN-20
NiO/%(质量)	≥8	≥8	≥14	≥14
CaO/%(质量)	1.4	1.4	约6	6
SiO_2/%(质量)	≤0.2	≤0.2	≤0.2	≤0.2
K_2O+Na_2O/%(质量)	≤0.2	≤0.2	<0.2	<0.2
Al_2O_3/%(质量)	约87	约87	约60	约76

性状

型号	Z203-1	Z204	Z205	Z206
外观	7筋车轮状	拉西环	拉西环	拉西环

型号	Z203-1	Z204	Z205	Z206
尺寸/mm	$\phi19\times19/\phi7$①	$\phi19/\phi9$②$\times19$	□25/□10②$\times17$	□16/ 6①$\times16$
	$\phi16/\phi6.5$①$\times16$		□19/□9②/19	
堆密度/kg·L^{-1}	≤1.2	1.16～1.19	1.1～1.15	约 1.15
比表面/m^2·g^{-1}	—	50		3
孔容/ml·g^{-1}	—	0.2	—	0.2
径向抗压强度/N·cm^{-1}	≥200	≥490	≥834	≥400

型号	CZ-4	CZ-5	CN-17	CN-20
外观	拉西环	球形	拉西环	拉西环
尺寸/mm	$\phi19/\phi9$①$\times19$	□18	□19/□9②$\times19$	□19/□9②$\times19$
堆密度/kg·L^{-1}	1.0～1.1	1.4～1.7	0.8	0.75～0.85
比表面/m^2·g^{-1}	—	—	19	12
孔容/ml·g^{-1}	—	—	0.2	0.38
径向抗压强度/N·cm^{-1}	≥460	—	≥400	398

① $\phi7$ 为牛轮的相邻筋之间的孔径；② 第 2 个 · 表示环的内径。

制法 二段转化的反应温度在 950～1300℃，要求催化剂在高温下活性稳定，机械强度好。制备方法主要有如下两种。

方法 1：将市售硝酸镍或用硝酸溶化镍块制得的硝酸镍配成所需浓度，加入 α-Al_2O_3 粉，在搅拌下用碳酸钾溶液中和，生成沉淀。将沉淀与母液分离，多次洗涤沉淀物，经过滤、干燥、煅烧，再与纯铝酸钙水泥、石墨混合均匀，压制成型，水或蒸汽养护固化，制得粘结型催化剂。

方法 2：将氧化铝粉与其他助剂混合碾压，送造粒网滚搓成细粒。用成型机压制成型，置煅烧炉中高温烧结即得载体。用硝酸镍和助剂（促进剂）的溶液浸渍此载体，捞出后经沥干、干燥、焙烧即得烧结型催化剂。

使用条件

型号	Z203-1	Z204	Z205	Z206
压力/MPa	1.0～5.0	0.1～4.5	≤4.5	约 3.5
温度/℃	450～1300	450～1350	<1500	430～1350
(H_2O/C)/(mol/mol)	0.9～1.2	≥2.5	≥2.5	≥2.5

型号	CZ-4	CZ-5	CN-17	CN-20
压力/MPa	3.2～3.5	≤4.0	≤4.5	≤4.5

型号	CZ-4	CZ-5	CN-17	CN-20
温度/℃	450～1350	430～1350	450～1350	450～1400
(H_2O/C)/(mol/mol)	3.0	3.0	≥2.5	

二段转化催化剂与一段催化剂分别装填于二段炉和一段炉，一同开车、升温、还原。当二段转化催化剂顶部温度升至650℃时，才能向二段炉中添加工艺空气。

二段炉中甲烷含量远比一段炉中的低、温度又高，因此结炭不是主要危险，毒物先被一段催化剂吸收，二段受损小。二段转化催化剂重点问题是耐热性和抗气流冲刷性能。

用途 主要用于合成氨或制氢厂的二段蒸汽转化。天然气、炼厂气、轻油等烃类经一段转化后，由于在一段出口温度下反应平衡的限制，一段出口气中尚有10%左右的CH_4存在。为使其进一步转化为氢，需要提高反应温度，以有利于可逆吸热的转化反应的平衡右移。二段转化催化剂比一段催化剂可耐更高的温度，二段转化后气体中残余甲烷含量可降至0.5%以下。Z204也可用于中、小型合成氨厂的天然气一段转化；Z205用于二段上部耐热层；CZ-5用于二段上部热保护层。

生产厂家 化工部西南化工研究院、盘锦辽河化工集团公司催化剂厂、四川化工集团催化剂厂等。

02204 国外烃类二段蒸汽转化催化剂(部分) overseas secondary hydrocarbon steam reforming catalysts

基本配方和结构

型号	C11-4-03	C14-1-02	C15-1-02	ГИАП-8
(国名及公司)	(美 CUI)	(美 CUI)	(美 CUI)	(俄 ГИАП)
NiO/%（质量）	16	4	—	5
Cr_2O_3/%（质量）	0	0	6	0
载体	$CaAl_2O_4$	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3

型号	54-1	54-3	RKS-2	RKS-2-7H
(国名及公司)	(英 ICI)	(英 ICI)	(丹麦 Topsoe)	(丹麦 Topsoe)
NiO/%（质量）	14	4.8	7	7
载体	$CaAl_2O_4$	Al_2O_3	$MgAl_2O_4$	$MgAl_2O_4$

性状

型号	C11-4-03	C14-1-02	C15-1-02	ГИАП-8
外观	拉西环	球状 环状	球状 块状	片状
尺寸/mm	$\phi16/\phi6.5$① ×16/10	球 ⌴19	球□19	□15×15
		环 $\phi25/\phi16$① ×25	块□16～38	
堆密度/(kg/L)	0.72～0.88	球 1.31,环 1.04	球 1.04,块 1.31	1.0～1.25
比表面/(m^2/g)	—	—	—	4～6
径向抗压强度(还原前)/(N/cm)	500	570	570	—

型号	54-1	54-3	RKS-2	RKS-2-7H
外观	拉西环	拉西环	拉西环	7孔圆柱体
尺寸/mm	⌴17/□7① ×17	⌴16/□6① ×16	□19/□9① ×19/15	□20×18×□4-7②
堆密度/(kg/L)	0.8	0.96	1.0	0.9
比表面/(m^2/g)	50～60	1.6	—	—

① 第2个□表示为环的内径;② 短横前□表示小孔直径,短横后的数字代表小孔数目。

制法 主要有粘结型和烧结型两类催化剂的制备方法，粘结型以高铝酸钙水泥（$CaAl_2O_4$）为载体，烧结型以 α-Al_2O_3 或 $MgAl_2O_4$ 为载体，具体制法参见国产二段转化催化剂的制法。

使用条件

型号	C11-4-03	C14-1-02	C15-1-02	ГИАП-8
压力/MPa	0.1～4.5	0.1～4.5	0.1～4.5	3.9
温度/℃	760～1250	980～1600	980～1600	800
空速/h^{-1}	—	2500～4500	2500～4500	—

型号	54-1	54-3	RKS-2	RKS-2-7H
压力/MPa	0.1～3.0	0.1～2.8	3.9	—
温度/℃	<1200	<1200	1250	1600
空速/h^{-1}	1500～5000	1500～5000	1500	—

用途 参见国产二段转化催化剂的用途。

生产厂家 见各型号对应的国家和公司名。

02205 轻油蒸汽转化催化剂 naphtha steam reforming catalysts

基本配方和结构

型号	Z403H	Z409/Z405G	CZ86-1/CZ86-2	CN-14
NiO/%（质量）	25～30	22/11	10.5/12.5	≥50

护，则得到成品。

使用条件

型号	Z403H	Z409/Z405G	CZ86-1/CZ86-2	CN 14
压力/MPa	0.6～5.0	3.0	3.2	0.1～3.0
入口温度/℃	400～450	450～500/—	500～507/—	420
出口温度/℃	650～850	—/800	—/800～810	480
(H_2O/C)/(mol/mol)	1.9～6.5	3～4（常用3～4）	3～4水烃质量比2.5～2.7	
原料干点/℃	≤220	≤210	≤210	≤205
液空速/h^{-1}	2	?	?	1.0～1.7

还原 Z403H为预还原型催化剂，使用时不需还原。其他催化剂在装入管式转化炉后，要先还原，还原条件为压力0.8MPa左右，入口温度450～500℃，出口温度800℃。还原气中H_2含量大于60%，H_2O/H_2摩尔比3～7，H_2空速300h^{-1}。还原完成后即可逐渐加入气化了的轻油和水蒸气，开始反应，调整使用条件直至满负荷时的正常操作值。

结炭 轻油组成比天然气复杂得多，而且碳数多的烃类在高温下更易裂解析碳，裂解的中间产物易脱氢缩聚结焦。因此轻油转化催化剂应具备优良的抗炭性能，操作中也应严格控制反应条件，以防结炭而造成严重损失。

中毒 硫、砷、氯等化合物是催化剂最敏感的毒物，轻油及水蒸气必须净化后才能进入反应器，控制指标见天然气一段转化催化剂。

停车和钝化 转化系统停车时，要通入还原气，逐渐降负荷、降温、降压，保护催化剂不被氧化，利于下次开车。若需要检修或更换催化剂，则应先进行钝化操作，才能卸出催化剂。

用途 用于促进轻油（即石脑油）与水蒸气的转化反应。轻油一般为含C_8以下的液态烃类，其通式用C_nH_m表示，转化用的轻油干点≤220℃，主要反应如下：

$$C_nH_m + nH_2O \longrightarrow nCO + [n + (m/2)]H_2 \quad -Q_1$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \quad +Q_2$$

$$CO + 3H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O \quad -Q_3$$

轻油转化后生成的气体中除了有 H_2、CO、CO_2 外，还有 CH_4，故需接第二段转化。CN-14 型主要用于轻油转化制富甲烷的气体，它可作为干点较高的轻油的预转化催化剂或轻油制城市煤气的催化剂。其他催化剂均用于合成氨厂、甲醇厂及炼油厂制氢装置。Z409/Z405G 和 CZ86-1/CZ86-2 表示这些催化剂是组合使用的，在反应器中，斜杠前的催化剂放在上段，斜杠后的催化剂放在下段。

生产厂家 盘锦辽河化工集团公司催化剂厂、齐鲁石化公司研究院(或第一化肥厂)、化工部西南化工研究院、四川化工集团公司催化剂厂等。

02206 **国外轻油蒸汽转化催化剂**(部分) overseas naphtha steam reforming catalysts

其他名称 石脑油蒸汽转化催化剂

基本配方和结构

型号	C11-9-06	G-91C	46-1/46-4	46-9/57-3
(国名及公司)	(美 UCI)	(美 UCI)	(英 ICI)	(英 ICI)
Ni/%(质量)	20	14.9	16.5/?	11/9.4
K_2O/%(质量)	--	1	7/无	有/无
载体	Al_2O_3	陶瓷	$CaAl_2O_4$	$CaAl_2O_4$
型号	G1-80	RKNR	RK-69-7H	PR-DB-13
(国名及公司)	(德 BASF)	(丹麦 Topsoe)		(印度 PDIL)
Ni/%(质量)	47	25	14	25
K_2O/%(质量)	---	无	0.5	5
载体	$MgSiO_4$	$MgAl_2O_4$	$MgAl_2O_4$	$MgAl_2O_4$

性状

型号	C11-9-06	G 91C	46-1/46-4	46-9/57-3
外观	环或轮幅状①	环状	环状	环或 4 孔圆柱
尺寸/mm	ϕ16/ϕ6.5② × 9.6	□16/□6.5② × 16	□17/□7② × 11	□17/□7② × 10/17
堆密度/(kg/L)	0.8～0.96	0.88～1.04	1.15/1.1	1.0/1.0
比表面/(m^2/g)	—	—	50～60/--	22/---
径向抗压强度/(N/cm)	—	400～500	—	310/--
型号	G1-80	RKNR	RK-69-7H	PR-DB-13
外观	片状	环状	7 孔圆柱	环状

型号	G1-80	RKNR	RK-69-7H	PR-DB-13
尺寸/mm	$\phi5\times5$	$\phi13/\phi6^{②}\times7$	□17×10×13.5-7③	$\phi16/\phi6^{②}\times16$
堆密度/(kg/L)	0.92	0.9	0.9	1.1
比表面/(m^2/g)	200	32～45	—	14.3
径向抗压强度/(N/cm)	100	—	—	480

① 轮幅状的型号为 C11-9-061 和 C11-9-062；② 第 2 个 ϕ 表示为环的内径；③ 短横线前为小孔的直径，短横线后为小孔数目

制法 有烧结型和粘结型两种制法，参见国产轻油蒸汽转化催化剂的制法。

使用条件

型号	C11-9-06	G-91C	46-1/46-4	46-9/57-3
压力/MPa	0.1～2.0	0.1～3.0	<2.8	3.9/0.1～3.9
温度/℃	600～1000	<840	<850	<1000/850～1000
(H_2O/C)/(mol/mol)	2～6	>2	2.5～5	2～5/2.5～3

型号	G1-80	RKNR	RK-69-7H	PR-DB-13
压力/MPa	0.1～3.9	0.6～3.9	类似 RKNR	1.2
温度/℃	—	450～850	类似 RKNR	690～760
(H_2O/C)/(mol/mol)	2～3	2.2～6.5	类似 RKNR	1.4～3.5

RKNR 为预还原型，使用前不需还原，其他均要在使用前在反应器中进行还原。还原、结炭、中毒等问题可参见国产轻油转化催化剂。

正常使用温度应为入口 450℃左右，出口 800～850℃，离入口 3 米处不得超过 650℃。

用途 同国产轻油蒸汽转化催化剂。46-1/46-4 和 46-9/57-3 为组合使用，斜杠前的装在上部，斜杠后的装在下部。

生产厂家 见各型号对应的国家和公司名。

02207 **炼厂气蒸汽转化催化剂** *refinery gas steam reforming catalysts*

基本配方和结构 型号 Z301 NiO 23%～25%，Al_2O_3 >25%，余额为 MgO、Fe_2O_3 及其他。

性状 环状，外形尺寸为 ϕ16/□6(内径)×14/16mm，堆密度 0.95～1.0，$kg\cdot L^{-1}$。

制法　先制备镍、铝、镁、铁的硝酸盐溶液，然后用纯碱溶液中和，生成沉淀。经过滤、洗涤、干燥、焙烧，然后加纯铝酸钙水泥，经养护而成。

使用条件　压力约 2.1MPa，入口温度 500～650℃，出口温度 780～800℃，H_2O/C 4.0～5.0，碳空速 750～1000h^{-1}。

用途　此催化剂抗烯烃(＜10%)，适用于炼厂焦化干气的蒸汽转化，也可用于橡胶生产的尾气或抽余油等的蒸汽转化制氢。

生产厂家　齐鲁石化公司第一化肥厂等。

第三节　一氧化碳变换催化剂

合成氨和制氢过程的原料气中所含 CO 可与水蒸气反应而转变成 CO_2 和 H_2，一般称此反应为一氧化碳变换反应或水煤气变换。通过此反应可制得更多的 H_2，同时降低 CO 含量。此反应必须采用催化剂，才有满足工业生产要求的反应速率。根据所适用的温度范围，CO 变换催化剂分为中温变换、低温变换和宽温变换三类。中温变换也称为高温变换，宽温变换催化剂多为耐硫型的，故又称为耐硫变换催化剂。近年来，为适应节能工艺的需要，开发出多种低水碳比的变换催化剂。为保护环境而开发出低铬或无铬变换催化剂。

我国目前生产的变换催化剂种类较多，型号达七十多个。具体分为（1）中温变换催化剂，有 B107，B107-1，B108，B109，NB113，B114，B118，EB118，XB-2，XZ-B 等，它们的反应温度较低；B110-1，B110-2 和 B113 属于本体低硫型；B113-2，NLS 属于低水碳比型；B115，B116，B117，B117-1，HNB-5，BX，BX-1，SXB 和 DGB 属于低铬型；B111，B112，BM-1，QHB-3，B113-1，HB108-2 和 WB-3 属于耐硫型；B119，BC-1 和 WC12-1-04 的密度较低；GDM 和 B107-4 的强度较高。（2）低温变换催化剂，其中的 Cu-Zn-Al 系有低铜含量的 B202，B205，高铜含量的 B204，B206，CB-2，CB-5，B205-1；Cu-Zn-Cr系有 B203。目前除海南富岛化工公司化肥厂因配套而用国外 ICI83-3 型低变催化剂外，我国大、中、小型合成氨厂所用的低温变换催化剂已全部国产化。（3）宽温耐硫变换催化剂，有大型厂用的 SB-5，SB-7，EB-6，QCS-1，QCS-02G，QCS-04，BS-90，ES-91。中、小型厂用的 B301，B301Q（原 SB-3），B302Q，B303Q，NCBC，

NCBC-1，NB-1，NB-2Q，XB-1，RSB-A，HB-3，HB 301，JB 302，HB303Q，JDB，LHB301，QCS-02，SB303Q 等。除以上外，还开发出无铬变换催化剂，例如有内蒙古大学开发的 NBC-1 已在多家中、小化肥厂试用成功，郑州大学研制的 WGB-1 和福州大学催化剂研究中心研制的 B121 等正在工业试验中。

国外许多公司如英国的 ICI、美国的 UCI、丹麦的 Topsoe、德国的 BASF、日本的宇部、意大利的 Montedisor 等公司均有许多型号的变换催化剂产品。近年来开发出一些适合于合成氨节能工艺用的低水碳比中温变换催化剂，使汽/气（蒸汽/干原料气）由原来的 0.6～0.7 降低至 0.4～0.5（相当于 $H_2O/C=2.7\sim2.8$）。当 $H_2O/C<2.8$ 时，传统的 Fe-Cr 系中变催化剂中的 Fe_3O_4 与 CO 结合成 Fe_5C_2，它会催化 CO 加 H_2 生成烃类（费托合成）及结炭的副反应，因此不适用于低水碳比的节能工艺。国外开发的低水碳比中温变换催化剂有三种类型：(1) 铁铬系基础上加铜，如 ICI 公司的 71-3、71-4，Topsoe 公司的 SK-201，BASF 公司的 K6-11。(2) 不含铁铬的铜基中变催化剂，如 ICI 的 83-5，Topsoe 的 KK-142，BASF 的 LK-811。(3) 铜锰系，主要活性组分为 $CuMnO_2$，日本、南非有专利。国内南京化工集团公司研究院的 NLS 型(铁铬系加铜)和 SX-1 型(铜基)正在开发中。

国外已将 Cu-Zn-Cr 系低温变换催化剂淘汰，只发展 Cu-Zn-Al 系。我国虽有一个 Cu-Zn-Cr 低温变换催化剂，但新型的低变催化剂也只发展 Cu-Zn-Al 系。重点改进方向是提高其耐热、抗毒性能，以及开发低水碳比的节能低变催化剂。

02301 一氧化碳中（高）温变换催化剂 medium (high) temperature Shift catalysts

基本配方和结构

型号	B113	B115	B116	B117
Fe_2O_3/%（质量）	76～80	≥73	≥75	73～75
Cr_2O_3/%（质量）	7～11	≤2	≤4	4～5
K_2O/%（质量）	0.4	≥0.35	—	—
MoO_3/%（质量）	无	无	≥1.0	一定量

型号	B119	HNB-5	BX	BX-1
Fe_2O_3/%（质量）	约 83	65～75	77～81	81
Cr_2O_3/%（质量）	约 9	4～6	约 3	2.7
K_2O/%（质量）	0.3～0.5	0.3～0.6	0.3～0.5	0.3～0.5
MoO_3/%（质量）	—	—	无	无
CeO_2/%（质量）	—	—	2	<1

型号	XZB-1	DGB	BM-1	CB-3
Fe_2O_3/%（质量）	71.6	65～75	75～85	≥80
Cr_2O_3/%（质量）	7.5	2.5～3.5	≥6.0	5～9
K_2O/%（质量）	0.6	—	0.3～0.4	一定量
MoO_3/%（质量）	无	—	2.2	无
CeO_2/%（质量）	2～5	—	无	CuO 2～2.6

性状

型号	B113	B115	B116	B117
外观	棕褐色片	棕褐色片	棕褐色片	棕褐色圆柱
尺寸/mm	$\phi9\times(5\sim5.5)$	$\phi9\times(5\sim7)$	$\phi9\times(5\sim8)$	$\phi9\times(7\sim9)$
堆密度/(kg/L)	1.3～1.4	1.35～1.45	1.45～1.55	1.5～1.6
比表面/(m^2/g)	74	35	40	50～60
径向抗压强度/(N/cm)	>250	≥196	≥196	≥196

型号	B119	HNB-5	BX	BX-1
外观	褐色片	褐色圆柱	褐色片	棕褐色圆柱
尺寸/mm	$\phi9\times(5\sim6)$	$\phi9\times(7\sim9)$	$\phi8\times(5\sim7)$	$\phi9\times(7\sim9)$
堆密度/(kg/L)	1.15	1.4～1.6	1.3～1.4	1.4～1.6
比表面/(m^2/g)	108	50	—	120
径向抗压强度/(N/cm)	441	≥196	—	—

型号	XZB-1	DGB	BM-1	CB-3
外观	棕色圆柱	褐色片	棕褐色片	棕褐色片
尺寸/mm	$\phi7\times(7\sim9)$	$\phi9\times(5\sim7)$	$\phi9\times(5\sim7)$	$\phi9\times5,\phi6\times3$
堆密度/(kg/L)	1.35～1.5	1.4～1.6	1.6	1.3～1.7
比表面/(m^2/g)	75	—	—	—
径向抗压强度/(N/cm)	200	≥196	≥196	≥150

制法 方法 1：混合法 先将固体硫酸亚铁溶解于脱盐水（去离子水），在搅拌下加入碳酸铵溶液中和，生成无定形氢氧化铁、碳酸铁

和碱式碳酸铁沉淀。热煮老化后，冲洗、过滤、干燥，得到半成品氧化铁，将此半成品与铬酐（CrO_3）、KOH、K_2CO_3、其他助剂、胶粘剂（如膨润土）、润滑剂（石墨）等混合碾压，再经造粒、干燥、压制成型、煅烧、即得成品。

方法 2：共沉淀法　将硫酸亚铁和铬酐一起溶解于脱盐水中，加入其他助剂，在搅拌下加入氨水，使氢氧化铁和氢氧化铬共同沉淀下来。经热煮、洗涤、过滤、干燥和焙烧，再粉碎，加入 KOH、石墨和适量水，混合均匀后压制成型，再干燥得成品。

方法 3：混沉法　先用碳酸铵将硫酸亚铁溶液中和生成铁化合物沉淀，冲洗后制成料浆，加入铬酐溶液，保持 90℃ 左右，利用 Fe^{2+} 的还原作用使可溶性 CrO_3 还原成 Cr_2O_3 而沉淀析出。然后加 KOH、石墨及其他助剂，混匀、干燥、造粒、成型、焙烧，即得成品。

方法 4：浸渍法　先用上述三种方法中任何一种制备铁铬催化剂，然后用浸渍方法来添加其他组分。如浸渍钼酸铵溶液，或稀土化合物溶液等，浸渍后进行干燥、焙烧得成品。硫酸亚铁有市售，也可用硫酸溶解金属铁制备硫酸亚铁溶液。

使用条件

型号	B113	B115	B116	B117
压力/MPa	0.1～3.0	0.1～2.0	0.1～2.0	0.1～2.0
温度/℃	320～470	340～450	400～470	300～500
空速/h^{-1}	350～2000	—	400～1100	400～1000
(汽/气)①/(V/V)	0.6～0.8	0.6～0.65	0.5～0.6	0.6～0.8
耐硫/(mg/Nm^3)②	＜200	800～1300	1000～1500	＜2500

① 汽/气表示水蒸气与含 CO 的干原料气之比；② Nm^3 表示标准状态下的气体立方米体积。

型号	B119	HNB-5	BX	BX-1
压力/MPa	0.1～4.0	0.1～2.0	0.1～2.0	0.1～0.8
温度/℃	300～460	300～500	350～500	350～500
空速/h^{-1}	加压下 3000	500～800	—	—
(汽/气)①/(V/V)	—	0.6～0.8	0.4～0.7	0.4～0.6
耐硫/(mg/Nm^3)②	200	＜2500	500～800	—

① 汽/气表示水蒸气与含 CO 的干原料气之比；② Nm^3 表示标准状态下的气体立方米体积。

型号	XZB 1	DGB	BM-1	CB-3
压力/MPa	0.1～0.8	0.1～0.8	0.1～1.5	0.8～4.0
温度/℃	350～475	296～520	290～530	250～550
空速/h^{-1}	—	300～1200	300～1000	2000～4000
(汽/气)①/(V/V)	0.6～0.7	0.6～0.8	≥0.6	≥0.35
耐硫/(mg/Nm^3)②	400～600	2500	较高	—

①汽/气表示水蒸气与含CO的干原料气之比；②Nm^3表示标准状态下的气体立方米体积。

还原　催化剂装入变换反应炉后，要先用H_2或CO加水蒸气的气体对其进行还原，使Fe_2O_3还原成Fe_3O_4，才具有催化活性。但若还原过度，出现金属铁时则变换活性降低，而会促进CO加氢生成烃类，因此必须严格控制还原条件和遵循操作规程。

放硫　催化剂制造中使用了硫酸亚铁原料，中和时硫酸根留在母液中，通过过滤和洗涤，可去掉绝大部分硫酸盐，但仍有少量或微量硫化物残留在催化剂或品中。在还原过程中，当温度升至325℃以上时，硫化物与氢反应转变为硫化氢气体，应该将其放空，而不能流到下游工序，否则会使后面的催化剂中毒，此放空操作称为放硫。放硫过程中定期分析出口气体中的H_2S含量，当H_2S的体积分率$<1\times10^{-6}$以后，才能停止放硫，将气体切入后面系统。

中毒　常见毒物是硫化物、氯化物、砷化物和磷化物，应该预先脱除。

破碎和粉化　导致催化剂破碎和粉化的因素很多，诸如进气中有O_2或H_2S，且含量波动大，引起催化剂相变和温度波动剧烈，易使进气端催化剂破碎；升、降压太快；冷凝水接触催化剂，使其粉化，等等。

钝化　还原后的催化剂接触空气会立即剧烈燃烧。故在催化剂卸出前应予钝化。

用途　用于合成氨和制氢工业中的CO变换过程，其催化反应为

$$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2 \quad + Q$$

通过此反应可将大部分CO转化产生H_2，气体中CO降至3%左右。反应温度一般为300～530℃，国外和我国大型合成氨厂习惯称之为高变催化剂，操作温度通常不超过460℃，而国内中、小型合成

入其他助剂，在搅拌下加入氨水，使氢氧化铁和氢氧化铬共同沉淀下来。经热煮、洗涤、过滤、干燥和焙烧，再粉碎，加入KOH、石墨和适量水，混合均匀后压制成型、再干燥得成品。

方法3：混沉法　先用碳酸铵将硫酸亚铁溶液中和生成铁化合物沉淀，冲洗后制成料浆，加入铬酐溶液，保持90℃左右，利用Fe^{2+}的还原作用使可溶性CrO_3还原成Cr_2O_3而沉淀析出，然后加KOH、石墨及其他助剂，混匀、干燥、造粒、成型、焙烧，即得成品。

方法4：浸渍法　先用上述三种方法中任何一种制备铁铬催化剂，然后用浸渍方法来添加其他组分，如浸渍钼酸铵溶液，或稀土化合物溶液等，浸渍后进行干燥、焙烧得成品。硫酸亚铁有市售，也可用硫酸溶解金属铁制备硫酸亚铁溶液。

使用条件

型号	B109	B110-1	B110-2	B112
压力/MPa	常压	常压		
温度/℃	300～530	常压 300～500	常压 300～500	290～480
气空速/h^{-1}	500～700	300～500	300～500	300～500

型号	B116/B121	FBD
温度/℃	320～500	320～500
	常压 250～600	250～600
汽气比	≥0.4	≥0.35

用途　适用中小氮肥厂。B109用于合成氨一氧化碳中温变换。B110-1，B110-2用在制氨厂和合成氨厂在较高温度下加速一氧化碳变换生成CO_2和H_2。B112可在中小型合成氨厂使用。

B116是当前合成氨工业上节能降耗新产品。FBD适用于中变串低变的工艺流程，可防止低变催化剂的反硫化。B121是不含铬的催化剂，是保护环境的催化剂。B118用于合成氨及石油工业中常压和加压变换。B116，B121，FBD也适用合成氨和制氢装置中将CO和水蒸气转化为CO_2和H_2。

生产厂家　南京化学工业公司催化剂厂、衡阳市湖南化工厂、河南开封开化集团有限公司、山东淄博市博洋化工责任有限公司等。

02303 国外一氧化碳高变催化剂(部分) overseas high temperature shift catalysts

基本配方和结构

型号	15-4	71-4	K6 11	SK201	KK142
(国名及公司)	(英 ICI)	(英 ICI)	(德 BASF)	(丹麦 Topsoe)	
Fe_2O_3/%(质量)	80.2	78	大量	大量	无
Cr_2O_3/%(质量)	9.0	7.9	一定量	一定量	无
Cu/%(质量)	无	1.0	少量	少量	大量
其他/%(质量)	S 0.038	S 0.026	—	载体 $MgAl_2O_4$	

型号	C12-3-05	C12-4	G-3A	CTK-2M-9
(国名及公司)	(美 UCI)	(美 UCI)	(美 UCI)	(俄 ГИАП)
Fe_2O_3/%(质量)	89	大量	89	85
Cr_2O_3/%(质量)	9	一定量	9	6.5
Cu/%(质量)	无	少量	—	—
其他/%(质量)	S<0.05	0.01	0.01	0.2

性状

型号	15-4	71-4	K6-11	SK201	KK142
外观	片状	片状	圆柱	—	—
尺寸/mm	□9×5.4	ϕ5.4×3.6	ϕ6×6 ϕ9×9	—	—
堆密度/(kg/L)	1.1	1.2	1.15	—	—
比表面/(m^2/g)	60	130	60	—	—
径向抗压强度/(N/cm)	250	—	轴向 2500	—	—

型号	C12-3-05	C12-4	G-3A	CTK-2M-9
外观	片状	圆柱	圆柱	圆柱
尺寸/mm	□9.5×4.8	ϕ6.4×6.4	ϕ6.4×6.4	ϕ9×9
堆密度/(kg/L)	1.12	—	1.2~1.4	1.6~1.7
比表面/(m^2/g)	80~100	—	100	25~30
径向抗压强度/(N/cm)	156	150	150	200~300

制法 见国产 CO 中温变换催化剂的制法。

使用条件

型号	15-4	71-4	K6-11	SK201	KK142
压力/MPa	0.1~5.0	0.1~5.0	0.1~8.0	—	—

型号	15-4	71-4	K6-11	SK201	KK142
温度/℃	330～530	—	入口 330～340	—	—
空速/h^{-1}	1000～5000	—	—	—	—
(H_2O/C)/(mol/mol)	≥4	2.7～2.8	2.7～2.8	1.6～2.6	2.5

型号	C12-3-05	C12-4	G-3A	CTK-2M-9
压力/MPa	0.1～5.0	3.2～3.3	＜8.3	4.9
温度/℃	340～510	入口 320～330	330～450	320～520
空速/h^{-1}	300～4000	—	300～3000	＜2000
(H_2O/C)/(mol/mol)	≥4	3.0～3.3	—	—

还原、放硫、中毒、钝化等参见国产中温变换催化剂。

用途 见国产 CO 中温变换催化剂。

生产厂家 见各型号对应的国家和公司名。

02304 一氧化碳低温变换催化剂 low temperature CO shift catalysts

基本配方和结构

型号	B202	B203	B204	B205
CuO/%（质量）	＞29	17～19	35～40	28～31
ZnO/%（质量）	41～47	28～31	36～41	44～51
Al_2O_3/%（质量）	8.4～10	无	8～10	8～10
Cr_2O_3/%（质量）	无	44～48	无	无
其他		$Cl\leqslant 100\times10^{-6}$		$Cl\leqslant 100\times10^{-6}$
		$S\leqslant 1000\times10^{-6}$	$S<500\times10^{-6}$	$S\leqslant 200\times10^{-6}$

型号	B205-1	B206	CB-2	CB-5
CuO/%(质量)	≥42	34～42	34～41	38～42
ZnO/%(质量)	≥42	34～42	34～41	42～47
Al_2O_3/%(质量)	≥8	6.5～10.5	6.5～10.5	8～11
其他	—	$S\leqslant 150\times10^{-6}$	—	$(K^+ + Na^+)<0.04$

另外还有 B204-1、NB207 等型号。

性状

型号	B202	B203	B204	B205
外观	黑色圆柱	黑色片状	黑色圆柱	黑色片状
尺寸/mm	$\phi5\times(4.5\sim5.5)$	$\phi6\times(3.5\sim4)$	$\phi5\times(4\sim5)$	$\phi6\times(3.5\sim4.5)$

型号	B202	B203	B204	B205
堆密度/(kg/L)	1.4～1.5	≤1.4	1.4～1.6	≤1.4
比表面/(m^2/g)	60～80	50～70	65～85	60～80
径向抗压强度/(N/cm)	157	≥200	157	≥200

型号	B205-1	B206	CB-2	CB-5
外观	黑色片、圆柱	黑色圆柱	黑色圆柱	黑色片状
尺寸/mm	$\phi6\times3$, $\phi5\times5$	$\phi5\times(4\sim5)$	$\phi5\times(4.5\sim5)$	$\phi6\times3$, $\phi5\times2.5$
堆密度/(kg/L)	1.21	1.4～1.6	≤1.3	1.15～1.27
比表面/(m^2/g)	60～80	65～85	—	75～78
径向抗压强度/(N/cm)	≥250	≥250	≥196	70～80(每颗)

型号	B204-1	NB207
外观	黑色圆柱体	
尺寸/mm	$\phi5\times(4.5\sim5.5)$	$\phi5\times(4\sim5)$
堆密度/(kg/L)	1.35～1.45	1.4～1.5
比表面/(m^2/g)	70～80	100
孔容/(ml/g)	0.3	
径向抗压/(N/cm)	≥160	≥180

制法 方法1：硝酸法 分别用硝酸将铜和锌完全溶化，按配方混合此两种溶液，用碳酸钠中和，生成沉淀。用脱盐水冲洗数次，然后加入氢氧化铝粉末，混合均匀。过滤、干燥、碾压、造粒、焙烧、压制成型，即得成品。

方法2：络合法 先将铜和氧化锌与氨水一起配置成铜锌氨络合溶液，加入各种助剂，然后加热，分解产生氧化物沉淀。经过滤、干燥、碾压、造粒、焙烧，加入适量石墨并混匀，再压制成型，即得成品。

使用条件

型号	B202	B203	B204	B205
压力/MPa	≤3.0	1.0～5.0	≤4.0	1.0～5.0
温度/℃	180～230	180～240	200～240	200～260
空速/h^{-1}	1000～2000	≤4000	1000～2500	1000～4000
(汽/气)/(V/V)	—	≥0.45	—	≥0.4

型号	B205-1	B206	CB-2	CB-5
压力/MPa	0.1～5.0	<4.2	≤3.0	2～5

型号	B205-1	B206	CB-2	CB 5
温度/℃	180～250	180～260	210～300	210～250
空速/h^{-1}	5000	2000～3000	1000～2000	3000
(汽/气)/(V/V)	≥0.25	0.28～0.6	≥0.35	0.5～1

型号	B204-1	
压力/MPa	1～4	
温度/℃	230～400	
气空速/h^{-1}	1000～3000	液 1～6

还原 低(温)变(换)催化剂装入反应器后，必须先进行还原，使氧化铜转化成金属铜微晶，才具有变换催化作用。还原操作中必须严格控制好升温、恒温、配氢三个环节，以免温度骤升，还原反应剧烈放热而烧坏催化剂，应严格按还原操作程序和条件进行。

损害低变催化剂活性的主要因素有（1）中毒。主要毒物有硫化物、氯化物等，过多的氧化钠和氧化钾也会使活性降低。硫化物主要来源于原料气，而氯化物主要来源于水蒸气和原料气。(2) 水蒸气冷凝。当操作温度低于露点时，水蒸气会冷凝，溶解了杂质的冷凝液将浸泡损害催化剂，使活性和强度降低，因此操作温度必须控制比露点高20℃。（3）超温烧结。催化剂床层超温，或运转时间过长，都会使低变催化剂中的铜微晶长大和融合，活性表面减少，因而活性明显下降。尚有其他许多因素也可导致活性等性能恶化，不再赘述。

用途 用于合成氨和制氢工业中。通常，低温变换催化剂是串联在中（高）温变换催化剂之后使用的。经中（高）变后气体中CO含量在3%左右，再经低温变换，CO含量可降至0.4%或更低，这样可提高H_2产率，并减轻后面净化工序的负担和投资费用。生产实践证明，如果低变出口气体中CO每降低0.1%，则H_2或NH_3的产率可增加1.1%～1.6%。可见，低变催化剂是制氢、制氨厂十分关键的经济型催化剂。B204-1用在制氨、制氢工业中。

生产厂家 南京化工集团公司催化剂厂、盘锦辽河化工集团公司催化剂厂、四川化工集团公司催化剂厂、刘家峡化肥厂催化剂分厂等。我国各合成氨厂和制氢装置均采用国产低变催化剂（仅海南富岛化工公司化肥厂因配套引进装置尚在用英国ICI公司的83-3型低变催化剂）。

02305 国外一氧化碳低温变换催化剂(部分) overseas low temperature CO shift catalysts

基本配方和结构

型号	C18HC	G-66A	53-1	K3-110	LK821-2
(国名及公司)	(美 UCI)	(美 UCI)	(英 ICI)	(德 BASF)	(丹麦 Topsoe)
CuO/%(质量)	42	40	33	40	不详
ZnO/%(质量)	47	42	33	40	不详
Al_2O_3/%(质量)	10	18	33	20	不详

性状

型号	C18HC	G-66A	53-1	K3-110	LK821-2
外观	片状	片状	片状	圆柱状	圆柱状
尺寸/mm	□6.4×3.2	φ6.4,□9.5	φ5.4×3.6	φ5×3	φ4.3×3.5
堆密度/(kg/L)	1.28	1.28	1.0	1.15	1.2
比表面/(m^2/g)	—	—	120	100	—
抗压强度/(N/cm)	径向 100	—	轴向 1000	径向 70	轴向 1000

制法 参见国产低温变换催化剂的制法。

使用条件

型号	C18HC	G-66A	53-1	K3-110	LK821-2
压力/MPa	0.1～4.0	0.1～4.0	0.1～5.0	—	—
温度/℃	180～290	190～260	180～250	180～300	170～250
空速/h^{-1}	300～4000	—	—	—	—
(汽/气)/(V/V)	0.3～0.5	≥0.2	～0.33	—	—

用途 参见国产低温变换催化剂的用途。

生产厂家 美国 UCI 公司(现在已与日本日产 Girdler、比利时 CCE 等公司合组为南方化学集团,近年又推出 C18-7-01 型低变催化剂);英国 ICI 公司(近年推出 53-2、83-3 等新型号低变催化剂);德国 BASF 公司(新推出 K3-111);丹麦 Topsoe 公司(新推出 LK-823 型号低变催化剂)。

02306 一氧化碳宽温(耐硫)变换催化剂 sulphur resistant CO shift catalysts

基本配方和结构

型号	B301	B301Q	QCS-01	QCS-04
CoO/%(质量)	2～3	2～3	3～4	约 1.8

型号	B301	B301Q	QCS-01	QCS-04
MoO_3/%(质量)	10～15	10～15	7～9	约8.5
载体	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3

型号	B302Q	NCBC	NCBC-1	CB-5
CoO/%（质量）	>1	2～5	1.5～5	1～2.5
MoO_3/%（质量）	>7	8～15	8～15	≥6
载体	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3

型号	TB302	FBK	QCS-10	ZB-3
CoO/%	>1.0	>1.0	14.1	≥1.8
Mo_2O_3/%	>8	>7	7.11	≥9
Al_2O_3/%	余量		余量	余量

型号	QCS-02G	QCS-03	QCS-02
MoO_3/%	8+/-1	8+/-1	0.8
CoO/%	2+/-0.3	2+/-0.3	5.5
助剂/%	5+/-0.5	0.45+/-0.5	不详
载体	余量	余量	余量

注：另外还有SB-3、DNB、B111、RB-1、LB302Q、CBS等型号

性状

型号	B301	B301Q	QCS-01	QCS-04
外观	灰蓝片状	灰蓝球状	球状	球状
尺寸/mm	$\phi5\times(4\sim6)$	$\phi4\sim\phi6$	$\phi3.6\sim\phi3.8$	—
堆密度/(kg/L)	1.05	0.8～0.85	0.75～0.82	—
比表面/(m^2/g)	>80	—	113～114	110
抗压强度/(N/cm)	侧压150	点压49～98	侧压150～155	侧压158

型号	B302Q	NCBC	NCBC-1	CB-5
外观	墨绿球状	灰蓝条状	蓝灰球状	蓝灰球状
尺寸/mm	$\phi3\sim5$, $\phi5\sim6$	$\phi3\times(5\sim10)$	$\phi3\sim\phi10$	$\phi3\sim\phi6$
堆密度/(kg/L)	0.9～1.1	0.7	0.85～0.95	--
比表面/(m^2/g)	173	约200	约180	—
抗压强度/(N/cm)	点压>30	侧压130	点压>30	每颗≥100

型号	TB302	FBK	QCS-10	ZB-3
外观	浅灰蓝色球状	浅红色球	条形	颗粒
尺寸/mm	$\phi3\sim\phi6$	$\phi4\sim\phi5$	$\phi3.5\sim\phi4$	40～60目

型号	TB302	FBK	QCS-10	ZB 3
堆密度/(kg/L)	0.75～0.85	0.7～1.0	0.75	
比表面/(m^2/g)	≥70	150～190	108	
孔容/(ml/g)	≥0.4		0.3798	

型号	QCS-02G	QCS 03	QCS-02	DNB	B111
外观			浅红色或蓝灰球	球体	棕色圆柱体
尺寸/mm	ϕ4×(8～12)	ϕ4×(8～12)	ϕ4～ϕ6	ϕ3～ϕ5	ϕ(9～9.5)×(5～8)
堆密度/(kg/L)	750～850	750～820	800～950	0.7～0.8	1.4～1.5
比表面/(m^2/g)	≥70	≥50	>70	130～150	
孔容/(ml/g)	≥0.25	≥0.25	>20ml/g		
径向流变/(N/cm)	≥100	≤130			

型号	RB 1	LB302Q	CBS
外观	淡黄色球状	浅绿或浅蓝色球	粉红色球
尺寸/mm	ϕ3～ϕ5	ϕ3～ϕ10	ϕ3～ϕ6
堆密度/(kg/L)	0.8～0.9	0.8～0.85	0.8～0.9
比表面/(m^2/g)	150～200	200	
机械强度/(N/颗)	>30	>7(kg/颗)	

制法 方法 1：混碾法 将硝酸钴、钼酸铵、碱金属的盐类等的水溶液与氧化铝粉、胶粘剂等通过碾压混合均匀，再经造粒、干燥、焙烧、压制成型，或碾压后挤条成型，干燥、焙烧得成品。

方法 2：浸渍法 此法是近年来最多采用的方法，预先制备或购买预煅烧好的载体（球形或条形），然后载体分浸或者共浸硝酸钴、钼酸铵、钾盐或其他助剂（如镁、钛的可溶性化合物）的水溶液，随后经干燥和焙烧得成品。或者将载体粉末先浸渍溶液，然后挤条成型，再干燥、焙烧而成。

使用条件

型号	B301	B301Q	QCS-01	QCS-04
压力/MPa	0.1～2.0	0.1～2.0	8～9	2.8～2.9
温度/℃	210～460	170～470	200～500	300～480
空速/h^{-1}	1500～2500	1500～2500	～4080	—
(汽/气)/(V/V)	0.15～1.6	0.15～1.4	1.4～1.6	0.4～0.6

失活 主要原因有（1）活性组分流失。例如碱金属溶于冷凝水，超温（>510℃）致使钼化合物挥发等。（2）活性组分中毒。例如硫酸盐化的发生。（3）催化剂结构变化。如在长期高温及工艺气作用下，表面积炭、载体晶型转变、微晶烧结等。（4）发生反硫化现象。当进料气中 H_2S 含量不足时，催化剂的活性硫化物会发生水解，放出 H_2S，称为反硫化，活性下降。

用途 QCS-01 可适用于以重油、渣油等为原料的大型合成氨厂和制氢装置中 CO 变换过程。QCS-04 可适用于以煤为原料的大型合成氨厂和制氢装置中 CO 变换过程。这些原料含硫高，变换之前的造气过程又不需脱硫，故进入变换系统的气体中硫含量高。采用耐硫变换催化剂可不预先脱硫，而将脱硫过程放到后面与脱 CO_2 同时进行，可缩短流程，简化操作，节省蒸汽。

QCS-01 和 QCS-04 可取代国外同类催化剂，也可用于中、小型合成氨厂。

其他型号的耐硫变换催化剂主要适用于中、小型合成氨厂，也可以串联在铁铬系中变换催化剂之后，进一步将 CO 降低至 1% 以下。

NCBC-1 用于中小型合成氨厂中变串低变流程中。RB-1 用于中小合成氨厂含高碳切原料气，它有较好的低温活性和耐热性能。原料气中 H_2S 含量 $>0.1g/m^3$，CO 含量（20～32）%。LB302Q 用在加压和常压变换工艺中，一般串联中变系统减低变换系统出口 CO 含量。CBS 用在合成氨和石油工业中。

NCNB 催化剂使用前必须进行硫化，原料 CO 含量（3～9）%，汽/干气（体积比）0.15～0.7。

DNB 用在以煤/油为原料（特别是劣质煤和渣油）的合成氨中使用，也可作为中变、低变、全低变和宽温变换催化剂使用。原料气中 H_2S 含量 $>0.1g/m^3$，含氧量 $<0.5\%$。B111 催化剂有强的抗毒性，允许原料气中 $H_2S<5g/m^3$，氧含量 $<0.5\%$。

用于煤气中 CO 变换，FBK 催化剂适用中小氮肥厂的中串低中低低一氧化碳变换工艺。QCS-01 适用以重油、渣油、煤为原料宽温（200～500℃）变换，用来制取氨合成气。QCS-04 适用于大型中压（5MPa）鲁奇（或德士古）炉气化制 NH_4 或煤气。QCS-02G 适用低

变制氨。QCS-02 适用中小氮肥厂中串低或全低变工艺制氨，QCS-10 用在全低变中。SB-3 用在中串低流程上。

生产厂家 上海化工研究院、齐鲁石化公司研究院、南京化工集团公司催化剂厂、湖北省化工研究所、四川化工集团公司催化剂厂、衡阳市湖南化工厂、江苏靖江催化剂厂、山东齐鲁石化研究院、山东齐鲁化工研究院（还生产 QCS-01 QCS-04 QCS-06）、上海化工研究院等。

02307 国外一氧化碳耐硫变换催化剂 overseas sulphur resistant CO shift catalysts

基本配方和结构

型号	C25-2-02	G-93	K8-11	SSK
（国名及公司）	（美 UCI）	（日日产 Girdler）	（德 BASF）	（丹麦 Topsoe）
CoO/%（质量）	2.7～3.7	4.5	4～4.7	1.4
MoO_3/%（质量）	11～13	15	9.8～10	7
其他/%（质量）	REO0.9～1.3			$K_2CO_3$10
载体	Al_2O_3	Al_2O_3	$MgAl_2O_4$	Al_2O_3

性状

型号	C25-2-02		G-93	K8-11	SSK
外观	片状	条状	球状	条状	球状
尺寸/mm	□4.8×3.2	φ3.2	φ4～φ6	φ4	φ3～φ6，φ5～φ10
堆密度/(kg/L)	约 0.84	约 0.68	—	0.75	1.0
比表面/(m^2/g)	122		—	150	100
径向抗压强度/(N/cm)	110	—	—	50	—

制法 参见国产宽温耐硫变换催化剂的制法。

使用条件

型号	C25-2-02	G-93	K8-11	SSK
压力/MPa	4～7	- -	0.7～9.8	1.5～7.5
温度/℃	290～450	260～480	280～500	200～475
空速/h^{-1}	1500～5000	—	1000～6000	2000～5000
(汽/气)/(V/V)	0.5～0.6	—	0.5～2	1.0
入口硫/$\times 10^{-6}$	>200	—	>2000	5～10

硫化、再生、钝化、失活等问题参见国产宽温耐硫变换催化剂的有关说明。

用途 参见国产宽温耐硫变换催化剂，主要用于大型和中型合成氨厂。

生产厂家 见各型号对应的国名和公司名。

第四节 甲烷化催化剂

在合成氨和制氢厂中，原料气经过中（高）温变换，或宽温耐硫变换后，绝大部分 CO 已转化。再经过脱除 CO_2，原料气中仍含有少量 CO 和 CO_2（一般两者之和<0.7%），但这仍然会使后面的氨合成催化剂或加氢催化剂中毒，故必须加以净化（常称为原料气精制）。净化方法有多种，其中之一是甲烷化法，即在催化剂促进下使 CO 和 CO_2 加 H_2 反应生成 CH_4 和 H_2O，生成的 H_2O 可以通过冷凝而脱除，CH_4 对于氨合成催化剂或加氢催化剂是惰性的，没有毒害作用，所以甲烷化过程可以保护这两种催化剂。

另外，在以煤制造城市煤气的生产过程中，常通过甲烷化来提高煤气中的 CH_4 含量，以提高城市煤气的热值，因此也要采用甲烷化催化剂。

我国早期生产的甲烷化催化剂型号有 J101，J104，目前有 J103H（引进丹麦 Topsoe 公司的技术），J105，J106，J106Q（CJ106）等，它们均以 γ-Al_2O_3 为载体，负载镍和不同助剂。最近推出的 J107 改用 TiO_2 作载体，镍含量仅为 J105 的四分之一。而低温活性、耐硫性及抗结炭等性能均优于 J105，但尚未用于大型厂。

城市煤气甲烷化催化剂有镍系的 M348-2，LJ 等，铝系的有 SG-100，J301（即 SU-329 或 KD306），SDM 等。

国外甲烷化催化剂亦多为镍系催化剂，生产厂家和型号亦很多。我国采用的甲烷化催化剂已基本实现国产化，J105 等已获得多家国外著名工程公司的确认。

02401 甲烷化催化剂 methanation catalysts

基本配方和结构

型号	J103H	J105	J106	CJ106（J106Q）
Ni/%（质量）	12～14	≥21	14～15	>12

型号	J103H	J105	J106	CJ106（J106Q）
Al_2O_3/%（质量）	余额	24～30.5	72～74	75～80
MgO/%（质量）		10.5～14.5	0.8	1
REO[①]/%（质量）		7.5～10	6.7	2

型号	J101Q	J101	J103
	Ni	NiO21%	N_i>12～20
	Al_2O_3	载体 Al_2O_3	

① REO代表稀土化合物。

性状

型号	J103H	J105	J106	CJ106(J106Q)
外观	黑色条状	灰蓝片状	灰黑条状	灰黑球状
尺寸/mm	□6×(5～8)	□5×(5～6)	□4×(10～20)	□5～□8
堆密度/(kg/L)	0.8～0.9	1.0～1.2	0.8～0.9	0.85～0.95
比表面/(m^2/g)	130～200	约 100	150	100～200
径向抗压强度/(N/cm)	—	≥180	192	150

型号	J101Q	J101	J103
外观	球形	灰黑色圆柱体	黑色条状
尺寸/mm	ϕ3～6	ϕ5×(4.5～5.5)	ϕ6×(5～8)
堆密度/(kg/L)	1.0	0.9～1.2	0.8～0.9
比表面/(m^2/g)	120	250	130～170
压强/(N/颗)	>25		

制法 方法1：浸渍法 将氧化铝与稀土化合物混合，挤条、干燥、煅烧，制得载体。再用硝酸镍和硝酸镁混合溶液浸渍载体，经干燥、煅烧而成。稀土化合物也可用可溶性盐类，加入到镍、镁硝酸盐溶液中，共同浸渍到载体上。J103H，J106 和 CJ106 即用此法制造。

方法2：共沉淀法 用硝酸将镍块溶化，加入硝酸镁和可溶性稀土化合物。完全溶解后，加入纯碱进行中和，然后冲洗沉淀，过滤后与氢氧化铝混合，碾压均匀，碾料经焙烧后压片成型制得成品。J105 即用此法制造。

使用条件

型号	J103H	J105	J106	CJ106(J106Q)
压力/MPa	0.1～5.0	0.1～5.0	0.1～5.0	0.5～5.0

型号	J103H	J105	J106	CJ106(J106Q)
温度/℃	250～500	250～420	270…450	250～430
空速/h^{-1}	5000～8000	5000～10000	6000～8000	3000～10000
入口 CO_2/%	<0.7	<0.7	<0.7	<0.5～1.0
出口 CO_2/$\times 10^{-6}$	<10	5～10	<10	<10

型号	J101Q	J101	J103
压力/MPa	常压～20	1～8	常压～5
温度/℃	270～400	270～400	260～500
气空速/h^{-1}	2000～5000	2000～3000	8000

还原 J105，J106，CJ106 为氧化态催化剂，装入甲烷化反应器后，应先进行还原。在一定温度范围内以含氢气体（如 N_2-H_2），将氧化镍还原成金属镍微晶才具有活性。当用工艺气（含 H_2、N_2、CO、CO_2）进行还原时，应尽快将温度升到 200℃以上，以防剧毒物质羰基镍生成。

停车与再活化 停车时在工艺气气流中降温，待降至 250℃时停工艺气，改通纯 N_2 气或纯 N_2-H_2 气。继续降温直至室温，要用纯 N_2 气维持正压防止漏入空气，否则催化剂自燃。待再开车时，在纯 N_2 气或纯 N_2-H_2 气中升温，至 250℃后切换入工艺气，再继续升温到正常条件。

中毒 硫、砷和卤素是镍催化剂的毒物。最常见的毒物是硫化物，若前序工段脱硫不力，硫化氢进入将使甲烷化催化剂中毒失效。

用途 用于合成氨及制氢装置的富氢气体中残存的少量 CO 及 CO_2 加氢甲烷化过程，以消除碳氧化物，保护氨合成催化剂和加氢催化剂。甲烷化反应为

$$CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O \quad + Q_1$$

$$CO_2 + 4H_2 \rightleftharpoons CH_4 + 2H_2O \quad + Q_2$$

目前以天然气、油田气和轻油为原料的大型合成氨厂以及部分以煤为原料的中型厂均有甲烷化过程。CO_2 比 CO 较难甲烷化，故残余 CO_2 比 CO 的含量高。例如，若甲烷化后的气体中（$CO + CO_2$）残存 10×10^{-6}时，其中 CO 只有 2×10^{-6}，CO_2 有 8×10^{-6}。合成氨过程一般要求甲烷化后的残余（$CO + CO_2$）在 10×10^{-6}以下，低温活性

高的甲烷化催化剂可使（$CO+CO_2$）降至5×10^{-6}以下。

甲烷化催化剂的使用寿命很长（十年左右），我国甲烷化催化剂已能取代国外产品。

J101Q用于促进碳的氧化物加氢生成CH_4的反应，也可用于烯烃加氢反应。J101用在合成氨和制氢装置中富氧体内少量的碳的氧化物加氢反应生成甲烷。

J106用在合成氨和加氢装置中，使气体中少量碳的氧化物加氢生成甲烷。J106Q用于合成氨厂脱碳后工艺中CO和CO_2转化为CH_4

生产厂家 盘锦辽河化工集团公司催化剂厂、南京化工集团公司催化剂厂、四川化工集团公司催化剂厂等。

02402 国外甲烷化催化剂 overseas methanation catalysts

基本配方和结构

型号	C13-4-04	CB-5-01	11-3	R1-10	PK-5
（国名及公司）	（美 UCI）	（美 UCI）	（英 ICI）	（德 BASF）	（丹麦 Topsoe）
Ni/%	16	25	一定量	一定量	27
载体	$CaAl_2O_4$	$CaAl_2O_4$	Al_2O_3	$Al_2O_3\cdot SiO_2$	Al_2O_3

性状

型号	C13-4-04	CB-5-01	11-3	R1-10	PK-5
外观	球形	球形	片状	圆柱形	空心条形
尺寸/mm	$\phi5\sim\phi8$	$\phi5\sim\phi8$	$\phi5.4\times3.6$	$\phi5\times5$	$\phi6/\phi2.5$①
堆密度/(kg/L)	0.8	0.8	1.1	0.9	0.65
比表面/(m^2/g)	72～125	72～125	60～80	—	200～250
抗压强度/(N/cm)	点压 68	点压 68	—	轴向 2940	—

① 第2个□表示为环的内径。

制法 有混碾法、共沉淀法和浸渍法，近年来浸渍法逐渐取代了其他两种方法，具体见国产甲烷化催化剂的制法。

使用条件

型号	C13-4-04	CB-5-01	11-3	R1-10	PK-5
压力/MPa	0.1～20	0.1～20	0.5～25	—	2.5
温度/℃	285～300	250～425	230～450	180～400	250～450
空速/h^{-1}	—	—	5000～10000	—	6000

注：其他说明参见国产甲烷化催化剂。

制法 干法 把氧化锌和铬酐细料混合均匀，并加少量铬干水溶液和石墨送入压片机成型，干燥后得成品（C102 采用混碾法）

湿法 用锌和铬的硝酸盐溶液，用碱沉淀，经洗涤、干燥后成型得产品。

使用条件

型号	C102	NC306	LC308
压力/MPa	20 ~ 30	3 ~ 15	5～15
温度/℃	300 ~ 400	200～300	220 ~ 280
气空速/h^{-1}	6000	7000～20000	5000～20000

用途 用在 20 ~ 30MPa，温度 350～400℃ 高压合成甲醇流程上。近来这种催化剂已被淘汰。催化剂在使用前必须进行活化。因我国以前高压合成甲醇产量少，催化剂依赖进口，所以催化剂品种较少。

生产厂家 南化集团化工研究院、山东齐鲁化工研究院、西南化工设计研究院等。

02502 低压合成甲醇催化剂 low-pressure carbinol synthesis catalyst

基本配方和结构

型号	C301	C301-1	C302	LC302	C303	C303-1
CuO/%	45～60	45～55	57	45～55	36	≥50
ZnO/%	25 ~ 30	25～35	29	25～35	37	≥30
Al_2O_3/%	3～6	2～6	2	2～6	20	≥18
V_2O_5/%			5			

型号	NC501	CNJ502	XC502
CuO/%	≥50		37.1
ZnO/%			30
Al_2O_3/%			有
ABO_3/%			2.1

性状

型号	C301	C301-1	C302	LC302	C303	C303-1
外观	黑圆柱	黑色片	片状	片状	棕黑柱	片状
尺寸/mm	$\phi5\times(4\sim5)$	$\phi5\times(5\sim4)$	$\phi5\times(4.5\sim5.5)$	$\phi5\times4.5$	$\phi4.5\times4.5$	$\phi6\times(4\sim6)$
堆密度/(kg/L)	1.6～1.8	1.4 ~ 1.6	1.4 ~ 1.6	1.5～1.7		1.25～1.45

型号	C301	C301-1	C302	LC302	C303	C303-1
比表面/(m^2/g)	>45	80～100	43～62			60～80
孔容/(ml/g)	0.18～0.2		0.23～0.3			
耐压强度/(N/cm)	>160	≥185	≥100	≥160		≥250

型号	NC501	CNJ502	XC502
堆密度/(kg/L)	1.6		
比表面/(m^2/g)			127.3
耐压强度/(N/cm)	≥185		

制法 Cu-Zn-Cr 系：铜盐锌盐铬盐混合液加碱沉淀、洗涤、过滤、干燥、碾压、焙烧加石墨混合，压片成型。

Cu-Zn-Al 系：硝酸铜与硝酸锌混合后加碱液沉淀老化洗涤过滤烘干后加 $Al(OH)_3$ 碾压造粒焙烧后与石墨混合压片成型。

使用条件

型号	C301	C301-1	C302	LC302	C303	C303-1
压力/MPa	5～30	5～10	5～10	5～26	3～15	4～15
温度/℃	210～290	210～290	210～280	210～270	210～290	220～280
气空速/h^{-1}				0.5～3		0.6～1.8

型号	NC501	CNJ502	XC502
压力/MPa	3～5	6～10	
温度/℃	220～300	215～270	
气空速/h^{-1}	0.6～1.2	1～1.5	

用途 用于低压法合成甲醇，C301 催化剂可用于高压法合成甲醇上。用在天然气、石脑油、重油等原料合成甲醇上。

生产厂家 西南化工研究院，XC502 产于厦门大学，南京化工研究院。

02503 国外低压合成甲醇催化剂 overseas low-pressure carbinol synthesis catalyst

基本配方和结构

型号	S3-S5	CHM-1B (BASF)	M-5 (三菱瓦斯)	MK101 (TOPSOE)	C79-2 (UCI)	51-2 (ICI)	51-3 (ICI)	LG104 (Lurgi)
CuO/%	35.4	53				60	60	51
ZnO/%	44.3	26				30	30	32

性状

型号	C70-2 UCI	Zn-03/2T Harshaw	25-1 ICI	SS-10Vred BASF	SMKR TOPSOE	MQF4 Montedson	616 leuna
外观		全是片状					
尺寸/mm	ϕ6.4 ×3.2	ϕ6.4 ×6.4	ϕ5×5	ϕ5×5	ϕ5.7 ×5.7	ϕ5×5	ϕ5×5
堆密度/(kg/L)		1.6	1.6	1.05～1.75	1.45	1.6～1.7	1.5～1.76
比表面/(m^2/g)		130		120	110		
孔容/(ml/g)		0.2		0.2		0.23～0.25	

制法 Cu-Zn-Cr 系：铜盐锌盐铬盐混合液加碱沉淀、洗涤、过滤、干燥、碾压、焙烧加石墨混合，压片成型。

Cu-Zn-Al 系：硝酸铜与硝酸锌混合后加碱液沉淀老化洗涤过滤烘干后加 $Al(OH)_3$ 碾压造粒焙烧后与石墨混合压片成型。

使用条件

型号	C70-2 UCI	Zn-03/2T Harshaw	25-1 ICI	SS-10Vred BASF	SMKR TOPSOE	MQF4 Montedson	616 leuna
压力/MPa	21～34	25～39	25～34	>20	20～39	20～39	20～40
温度/℃	340～400	330～400	320～390	300～400	330～400	300～400	300～400
气空速/h^{-1}		2.5～5	1.8～3		2～5	1.5～4	

用途 用于冶炼厂、合成氨厂、有机合成厂的制氢装置，加氢脱硫装置对各种烃类、气体的精脱硫。Z402、Z405G、Z409 用于工业制氢、氨、甲醇合成气和冶金还原气。Z412W、Z413W 用于氨合成气、甲醇合成气。

生产厂家 美国（UCIHarshaw）英（ICI）德（BASF）丹麦（TOPSOW）意（*Montedison）德（leuna）

02505 中压合成甲醇催化剂 medium-pressure carbinol synthesis catalyst

基本配方和结构

型号	C207	JC21	NC208	WC-1
CuO/%	38～42	38～42		38～42

型号	C207	JC21	NC208	WC-1
ZnO/%	38～43	38～43		38～43
Al_2O_3/%	5～6	5～8		5～6

性状

型号	C207	JC21	NC208	WC-1
外观	黑色片状	黑色片状	黑色片状	黑色片状
尺寸/mm	φ5×(4.8～5.5)	φ5×(4.7～5.6)	φ5×(4.5～5.5)	φ5×(4.8～5.5)
堆密度/(kg/L)	1.4～1.6	1.4～1.6	1.4～1.6	1.4～1.6
比表面/(m^2/g)	>70	70～100	70	70
孔容/(ml/g)	0.17	0.17～0.20	0.17	0.17
侧压/(N/cm)	>140		>176	>140

制法 采用共沉淀法制备。把铜和锌的硝酸溶液混合后加碱液共沉淀，然后洗涤、过滤、干燥，加 $Al(OH)_3$ 碾压·造粒、干燥、焙烧加石墨混合后，压片成型。

使用条件

型号	C207	JC21	NC208	WC-1
压力/MPa	10～15	3～25	10～15	3.5～15
温度/℃	220～280	210～290	220～300	220～300
气空速/10^4h^{-1}	1～2		1～2	1～2

用途 适用于以煤焦为原料的中小型合成氨厂的联醇生产。

生产厂家 南京化学工业公司催化剂厂、温州龙湾化工厂、北京化工试验厂、衡阳市湖南化工厂

第六节 氨合成催化剂

氨合成催化剂是合成氨生产中最后一个过程即由 H_2 和 N_2 直接合成 NH_3 所采用的催化剂。这是一个非常重要的催化剂，不仅影响氨产量，还影响合成氨生产过程的操作条件。该催化剂性能的改善甚至还将促进新型合成塔内件或合成新工艺的问世。

自 1913 年第一个工业氨合成铁催化剂问世以来，以磁铁矿(Fe_3O_4)为主，Al_2O_3，K_2O 为促进剂（助剂）的铁催化剂性能得到了很大改进和提高。改进点有新助剂的添加、制备工艺的革新、颗粒

尺寸或外形的变化等。

我国已生产的氨合成催化剂型号有20多个，有通用型的A103，A103-1，A106，A109，A110-1，A110-2，A110-3，A110-4，A110-5，A110-6；球形的A110-1Q，A110-5Q；预还原型的A103H，A103-1H，A110-1H；铁钴系的A201，AC，NC（ICI）74-1，DNCA，ACQ（球形），HA-2Q（球形）；加稀土的HG-1；高Fe^{2+}/Fe^{3+}比的A301，ZA-5等。

近年来合成氨工业重点是开发节能低压氨合成新工艺。根据氨合成反应特点，降低操作压力时必须降低反应温度，才能有足够高的平衡氨浓度。然而温度低时反应速率太低，需要有低温活性很高的催化剂来加速。传统的铁催化剂正常使用温度为450～500℃，压力高达15～30MPa，不能适用于低压工艺。所以国外生产催化剂的主要公司都加紧了研制、开发能在低温（200～400℃）、低压（6.0～10MPa，甚至更低）下操作的新型氨合成催化剂。20世纪70年代，美国的UCI、英国的ICI、丹麦的Topsoe等大公司推出许多新型氨合成催化剂，使操作压力和温度下降、吨氨能耗降低，其中较优的是铁钴双活性组分催化剂，但操作温度仍只能在400℃以上，压力一般在9.8～10MPa。目前最好的是ICI74-1型，虽然推荐使用压力为4.6MPa，但工业上实际使用压力仍大于8.0MPa。在我国，A110系列的起活温度逐渐降低，其中A110-1型和A110-1H（预还原）型已被国际著名工程公司确认为“世界上同类产品中的优良品种之一”，出口量较大，表明我国氨合成催化剂质量已达到世界先进水平。在开发低温低压氨合成催化剂方面也取得了一些成果，例如铁钴系的A201、DNCA型，高Fe^{2+}/Fe^{3+}比的A301、ZA-5等，经中、小型合成氨厂使用证实它们的性能已达到ICI74-1的水平，但尚未在大型厂中应用。目前，在我国用于大型合成氨厂的节能型氨合成催化剂是南化集团公司催化剂厂生产的引进英国ICI公司的74-1型产品，即NC（ICI）74-1。

真正在节能降耗上有根本性突破的全新合成氨工艺，是20世纪90年代由美国Kellogg公司和英国石油公司（BP公司）联合开发的KAAP工艺（Kellogg Ammonia Advanced Process），其关键是氨的合成采用了钌催化剂。该催化剂由BP公司研制，于1980年取得专利，

经过 10 年的开发，终于在 1992 年成功用于第一套大型厂（加拿大 Ocelot 制氨厂）的 KAAP 工艺中，操作压力为 7MPa、温度为 300～400℃，使合成系统的生产能力提高 20%～40%，节能 25%。钌催化剂的成功是合成氨工业的一个重大突破，它可使等压合成过程的实现成为可能，即从原料气制造和原料气净化直到氨合成均在相同压力下进行。

02601 氨合成铁系催化剂 ammonia synthesis Fe catalysts

基本配方和结构

型号	A103 及 A103H	A106	A109	A110-1
总 Fe/%（质量）	67.7	66～69	66～69	66～68
(Fe^{2+}/Fe^{3+})/(mol/mol)	—	0.55～0.65	0.5～0.6	0.5～0.6
Al_2O_3/%（质量）	2.9	3.5～4.1	2.6～3.2	1.8～2.2
K_2O/%(质量)	0.62	1.0～1.4	0.5～0.8	0.5～0.7
CaO/%(质量)	2.9	0.7～1.0	2.8～3.4	3.0～3.4
其他助剂/%(质量)	MgO≤0.6	—	MgO0.25～0.35	BaO 0.5～0.6
SiO_2/%(质量)	0.6	<0.45	0.7～1.1	<0.45

型号	A110-2	A110-3	A110-4	A110-5Q
总 Fe/%(质量)	67.5～69.5	68～70	67～69	67～70
(Fe^{2+}/Fe^{3+})/(mol/mol)	0.5～0.6	0.5～0.6	0.5～0.6	0.55～0.75
Al_2O_3/%(质量)	2.2～2.6	1.8～2.4	2.4～2.5	2.0～2.6
K_2O/%(质量)	0.6～0.8	0.5～0.7	0.6～0.9	0.8～1.3
CaO/%(质量)	1.4～1.8	1.2～1.6	1.4～1.8	0.7～1.5
其他助剂/%(质量)		BaO0.2～0.3		
SiO_2/%(质量)	<0.5	<0.4	<0.45	<0.45

型号	A110-6	A203(HG-1)[①]	A301(ZA-3)	ZA-5
总 Fe/%(质量)	69～70	67～70	71～72	71～72
(Fe^{2+}/Fe^{3+})/(mol/mol)	0.5～0.6	0.53～0.57	4～9	4～9

型号	A110-6	A203(HG-1)[1]	A301(ZA-3)	ZA 5
Al_2O_3/%(质量)	1.9～2.1	1.3～2.5	一定量	一定量
K_2O/%(质量)	0.5～0.6	0.3～1.0	一定量	一定量
CaO/%(质量)	1.3～1.5	—	一定量	一定量
其他助剂/%(质量)		CeO_2		
SiO_2/%(质量)	<0.45			

性状

型号	A103及A103H	A106	A109	A110-1
外观	黑色,有金属光泽的无规则形状,固体颗粒			
尺寸/mm	均有2.2～3.3,3.3～4.7,4.7～6.7,6.7～9.4几个等级粒度的产品			
堆密度/(kg/L)	2.8～3.0	2.7～3.0	2.7～3.0	2.6～2.8
比表面/(m^2/g)	—	约14	约13	>13

型号	A110-2	A110-3	A110-4	A110-5Q
外观	黑色,有金属光泽的无规则形状,固体颗粒			球形,黑色
尺寸/mm	均有2.2～3.3,3.3～4.7,4.7～6.7,6.7～9.4几个等级粒度的产品			
堆密度/(kg/L)	2.8～3.0	2.8～3.0	2.8～3.0	2.8～3.2
比表面/(m^2/g)	>15	>15	—	—

型号	A110-6	A203(HG-1)[2]	A301(ZA-3)	ZA-5
外观	黑色,有金属光泽的无规则形状,固体颗粒			
尺寸/mm	均有2.2～3.3,3.3～4.7,4.7～6.7,6.7～9.4几个等级粒度的产品			
堆密度/(kg/L)	2.8～3.0	2.75～2.9	3～3.25	33.25
比表面/(m^2/g)	—	—	>13	约14

制法 制法基本为熔融法。将磁铁矿(Fe_3O_4)砂精选，然后与氧化铝、石灰石、硝酸钾一起混合，若有其他助剂也同时混入。混合均匀后置于电炉中，再加一定量金属铁，通电使这些物料熔融。待完全熔化后，倾出至铁盘中，待冷却后破碎、磨角、过筛分级，即得无规则形状的氧化态成品。

若制备预还原型产品，则将氧化态成品置于还原炉中，用含氢气体在一定温度下进行还原，然后降温钝化，制得预还原型催化剂。

球形催化剂是将熔融物料引入特殊的成球设备，使其在冷却过程中形成球状。

使用条件

型号	A103及A103H	A106	A109	A110-1
压力/MPa	10～60	10～35	10～35	15～32
温度/℃	380～550	480～510	465～475	360～520
空速/h^{-1}	$(3～6)\times10^4$	3×10^4	3×10^4	3×10^4
H_2/N_2	3.0	3.0	3.0	2.8

型号	A110-2	A110-3	A110-4	A110-5Q
压力/MPa	10～35	10～35	10～30	10～30
温度/℃	360～520	350～500	360～520	350～520
空速/h^{-1}	3×10^4	3×10^4	3×10^4	3×10^4
H_2/N_2	2.8～3.2	2.7～3.0	2.7～3.0	2.8～3.0

型号	A110-6	A203(HG-1)[①]	A301(ZA-3)	ZA 5
压力/MPa	10～35	15～30	12～30	12～30
温度/℃	360～540	350～520	330～500	330～500
空速/h^{-1}	3×10^4	—	3×10^4	3×10^4
H_2/N_2	3.0	3.0	3.0	3.0

① A301(原ZA-3)的专利号为CN86108528.0。

还原 氧化态催化剂装入合成塔后，要先进行还原，将Fe_3O_4还原成α-Fe微晶才具有活性。工厂中一般用3/1的氢氮混合气作为还原气，逐渐分阶段升温还原。各型号催化剂都有各自的还原温度范围，并附有还原操作规程，应严格遵照执行。否则影响催化剂活性，或损坏催化剂。

中毒 硫、砷、氯、磷、碳氧化物、水汽等均会使铁催化剂中毒而失活。原料气应净化到非常纯净的程度。含氧的化合物总量应低于10×10^{-6}(体积分数)，不能含有硫、砷、氯、磷等化合物。

钝化 α-Fe非常活泼，遇空气立即自燃，烧毁催化剂和设备，故还原后绝对避免接触空气。卸出前应先进行钝化。

用途 主要用于合成氨厂的氨合成过程，催化的反应为

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + Q$$

目前国内大型合成氨厂主要使用A103、A110系列和ICI47-1型号(见下一表)，而其他型号主要用于中、小型合成氨厂。

此类催化剂也可用于冶金工业、电子工业中催化氨分解制纯氢和

纯氮气体。A106 主要用于冶金工业、电子工业使氨分解为纯净的 H_2 和 N_2。NH_4 分解温度 650℃，常压下空速 1000～2000h^{-1}。A110-4 在低温下有较高活性，是一种理想的合成氨催化剂，用于冶金、电子工业中是氨分解为纯净的 H_2 和 N_2，亦可用于 H_2，N_2 混合气中脱除 CO，CO_2。另外此催化剂暴露在空气中会迅速燃烧失去活性。

生产厂家 盘锦辽河化工集团公司催化剂厂、南京化工集团公司催化剂厂、山东环球化工集团股份有限公司(临朐催化剂股份有限公司)、郑州大学化工实验厂、浙江上虞催化剂有限责任公司、广东阳山县飞鸾实业有限公司催化剂厂等。

02602 氨合成铁钴催化剂 ammonia synthesis Fe-Co cotalysts

基本配方和结构

型号	A201	NC(ICI)74-1[①]	AC	NCA	A202
总 Fe/%(质量)	67～70	大量	65～70	大量	68～72
(Fe^{2+}/Fe^{3+})/(mol/mol)	0.45～0.6	—	0.45～0.55	—	0.4～0.6
CoO/%(质量)	1.0～1.2	1.0～4.0	少量	1.1～1.3	少量
Al_2O_3/%(质量)	1.9～2.6	少量	2.3～3.0	少量	2.1～2.8
K_2O/%(质量)	0.45～0.7	少量	0.4～0.8	少量	—
CaO/%(质量)	1.0～1.8	少量	1.2～2.0	少量	2.15～2.25

性状

型号	A201	NC(ICI)74-1[①]	AC	NCA	A202
外观	不	规	则	颗	粒
尺寸[②]/mm	2.2～9.4	1.5～9.4	2.2～13	2.2～9.4	—
堆密度/(kg/L)	2.6～2.9	2.6～2.8	2.8	2.7～3.0	2.8～3.0
磨耗/%	6	1	—	6.4	—

制法 熔融法，参见氨合成铁催化剂的制法。

使用条件

型号	A201	NC(ICI)74-1[①]	AC	NCA	A202
压力/MPa	15～30	8～10[②]	15～30	15～30	10～30
温度/℃	425～500	320～500	360～500	370～460	350～510
初期热点/℃	455～465	—	450～460	425	—

型号	C73 3-02	74-1	S6-10	KMⅡR	CA-1BП
CoO/%(质量)	5	5.2	无	无	无
Al_2O_3/%(质量)	2.4	2.5	2.9	4.22	2.85
K_2O/%(质量)	0.6	0.8	0.54	0.80	0.87
CaO/%(质量)	1.4	1.9	2.8	2.73	1.9
MgO/%(质量)	无	0.2	0.32	1.44	0.9
SiO_2/%(质量)	—	0.5	0.35	0.82	0.35

性状

型号	C73-3-02	74-1	S6-10	KMⅡR	CA-1BП
外观	无规则形状的颗粒				球形
尺寸/mm	5～11	1.5～9	3～23	1.5～23	φ3～φ10
堆密度/(kg/L)	2.45	—	2.7～2.9	1.83～2.18	1.7～2.3
比表面/(m^2/g)	17	—	—	—	10～12

制法 熔融法，参见国产氨合成铁催化剂的制法。

使用条件

型号	C73-3-02	74-1	S6-10	KMⅡR	CA-1BП
压力/MPa	4.9～15	4.6～8	9.8～58.8	9.8～98	
温度/℃	375～475	400～460	380～530	360～480	
空速/h^{-1}	6×10^3～2×10^4	15×10^3～3×10^4	3×10^4	—	

还原、中毒、钝化等问题参见国产氨合成铁催化剂。

用途 用于合成氨厂的氨合成过程，亦可用于氨分解制纯氢气和纯氮气。

生产厂家 见各型号对应的国名和公司名。

02605 **国外氨合成钌系催化剂** ammonia synthesis Ru catalyst

基本配方和结构 Ru 16.6%（质量分数），K 9.6%（质量分数），载体为含石墨的活性炭，型号 KE-1520，专利号 British Patent. 1565074 (1980)。

性状 载体 BET 表面积 565m^2/g，颗粒状；属于低温低压氨合成催化剂，在常压下的活性比铁系催化剂高 10～20 倍，节能 25%；在起始反应温度 300℃、压力 8.5MPa、$H_2/N_2=2.5$ 的条件下，氨合成率可达 20%；具较高的耐毒性，对 CO、CO_2、H_2O 等不敏感，但对氧

很敏感；估计使用寿命 15 年。

制法 在 N_2 气流中将活性炭加热至 900℃ 以除去芳烃，接着在 Ar 气流中加热至 1500℃，然后降温至 425℃ 通空气氧化。待失重达 23% 后切换通 Ar 气，再升温至 1700℃ 处理，即形成含石墨的炭载体。用硝酸铷（$RbNO_3$）水溶液浸渍载体，干燥后用 $RuCl_3$ 水溶液浸渍，干燥后即得到成品。

钌化合物也可用 $Ru_3(CO)_{12}$，将其升华到上述制得的硝酸铷处理过的载体上，再于真空中分解和干燥，即得成品。

使用条件 压力 4～5MPa；300～400℃；$H_2/N_2=(0.5/1)\sim(2/1)$（体积比）。

使用前要用氢气还原，才具有活性。

用途 用于合成氨厂低温低压氨合成工艺（KAAP），催化 H_2 与 N_2 合成 NH_3 的反应。（1992 年工业化）。

生产厂家 英国石油公司（BP）开发，美国 Engelhard 公司生产。

第七节 制酸催化剂

硫酸和硝酸制造过程中需要采用催化剂。

硫酸是重要的基本化工原料之一，世界硫酸总产量的一半用于生产磷肥和氮肥。硫酸还是许多有机、无机化学品制造过程中必须的原料、试剂或催化剂。制造硫酸的原料有硫铁矿、硫磺矿及含 SO_2 或 H_2S 的工业尾气，生产中关键过程是 SO_2 氧化成 SO_3，必须采用催化剂。自 20 世纪 20 年代以来，全世界都是使用钒催化剂来生产硫酸。近代钒催化剂的主要化学组分是五氧化二钒、硫酸钾或加部分硫酸钠、硅藻土（载体）。

目前我国可生产的硫酸催化剂有中温型的 S101，S101-1，S101-3，S101-6，S102，低温型的 S105，S107，S107-6，S108，宽温型的 S109-1，S109-2，异型的 S101Q，S101-2H，S107Q，S107-1H，耐砷的 S106，以及用于流化床（沸腾床）的微球型 FV-1 和 FV-7 等。

在国外，美国的 Monsanto（孟山都公司）与 UCI、英国的 ICI、丹麦的 Topsoe、德国的 BASF 和日本的触媒化学等公司已形成了国际硫酸催化剂的垄断集团，其中孟山都环境化学公司的硫酸催化剂销售

另外还有 S107-6（组成与性状大体同 S107），FV1，FV2，S108-1H，S101-2M（梅花型），S107-1M（梅花型），Cs201（含铯催化剂），Cs201-1H（含铯催化剂）等型号。

性状

型号	S101	S102	S105	S106
颜色	深黄或棕红	深黄或棕红	黄至深褐	白或淡黄
外观	条状	环形	条状	条或环
尺寸/mm	$\phi5\times(10\sim15)$	$\phi5/\phi2^{①}\times(10\sim15)$	$\phi5\times(10\sim15)$	$\phi10/\phi4\times(8\sim16^{②})$
堆密度/(kg/L)	0.5～0.65	0.45～0.55	0.6～0.7	0.5～0.6/0.6～0.7
比表面/(m^2/g)	2～10	—	—	2～10
燃起温度[③]/℃	410～420	390～400	365～380	420

型号	S107	S108	S101-2H	S107-1H
颜色	黄或棕红	黄或棕红	黄或橘红	黄或橘红
外观	条状	条状	环形	环形
尺寸/mm	$\phi5\times(10\sim15)$	$\phi5\times(5\sim15)$	$\phi9/\phi4^{①}\times(10\sim15)$	$\phi9/\phi4^{①}\times(10\sim15)$
堆密度/(kg/L)	0.55～0.65	0.55～0.68	0.4～0.5	0.4～0.5
比表面/(m^2/g)	5～15	5～15	10～20	10～20
燃起温度[③]/℃	365～375	405～410	390～400	360～370

型号	S109-1	S109-2	S101Q	S107Q	FV1/FV7
外观	橘红条	灰黄条	橘红球	橘红球	黄橙色微球
尺寸/mm	$\phi5\times(5\sim15)$	$\phi5\times(5\sim15)$	$\phi5\sim\phi8$	$\phi5\sim\phi8$	
堆密度/(kg/L)			0.45～0.55	0.5～0.6	0.7～0.8
比表面/(m^2/g)			3～6	5～10	
孔隙率/%				50～60	
侧压强度/(N/cm)	62	>50	点 20N	点 20N	

① 第 2 个“/”代表环的内径；

② 此为环状的尺寸，而条状的尺寸与 S105 的相同；

③ 在此温度下催化剂已有明显活性，因反应放热，可自热维持反应进行，但反应速率尚不够快，故实际操作温度要比起燃温度高；

④ 通常用空气焙烧含硫原料，所得气体中 N_2 含量大，而且当 SO_2 浓度越高时，O_2/SO_2 值越低。

制法 在化碱桶中用蒸汽吹溶固体 KOH，将此溶液引入化钒桶，加入固体 V_2O_5。通入空气起搅拌作用，并用蒸汽加热，如此配制成一定 K/V 比例的 KOH 和 KVO_3 的混合溶液。用澄清法除去不溶物，清

液移入中和槽，加入硫酸，则生成由 K_2SO_4、V_2O_5 和 H_2O 形成的复杂胶体沉淀，将其移入混捏机中，并加入精制好的硅藻土（SiO_2）、硫磺粉和返料，进行碾压混捏。一定时间后添加少量水，形成含水分约40%的暗红色塑性“泥”料。将此“泥”料送至成型机挤压成条或环形，将成型颗粒置于连续移动的链板上，进入干燥窑干燥（<150℃），然后送至回转窑煅烧（550～650℃），烧成后冷却、过筛即得成品。碎片和粉末经粉碎后的细粉即为返料。

使用条件

型号	S101	S102	S105	S106
压力/MPa	常压	常压	常压	常压
温度/℃	425～600（<600）	425～600（<600）	380～500（常用>410）	440～600
SO_2/%	7～9	7～9	7～9	7～9
(O_2/SO_2)/(mol/mol)≥	1.1～1.9	1.1～1.9	1.1～1.9	1.1～1.9

型号	S107	S108	S101-2H	S107-1H
压力/MPa	常压	常压	常压	常压
温度/℃	400～580	400～580	420～600（<600）	400～580
SO_2/%	7～9	7～9	7～9	7～9
(O_2/SO_2)/(mol/mol)	1.1～1.9	1.1～1.9	1.1～1.9	1.1～1.9

型号	S109-1	S109-2	S101Q	S107Q	FV1/FV7
使有温度/℃	400～580	400～580	425～600	400～580	370～530
起燃温度/℃	360	370～380	410～420	360～370	
入口 SO_2/%	7.5～9.4	6.5～9	7～9	7～9	

S101/S101-2H 起燃温度 390～400℃ 适用转化器中的中温和高温区，S107，S108/S107-1H，S108-1H 起燃温度 380～390℃ 适用转化器内低温区，C_S201/C_S201-1H 适用低温，比常规催化剂起燃温度低 20～40℃。

活化　钒催化剂生产厂的成品中碱金属（钾、钠）是以硫酸盐形式存在的，并含有 0.5% 以下的游离酸。他们极易吸湿而溶化，故开车时应该用干燥空气预热后通入催化剂床层来升温，而不要用煤气或柴油燃烧的烟道气来升温（因燃烧会产生水蒸气）。当温度达到

400℃时，可通入含 SO_2 的气体，然后逐渐增加 SO_2 浓度和进气量，直至正常值。

停车和卸出 短期停车应注意保持反应器的温度，对于低温钒催化剂，保温≥370℃；对于中温钒催化剂，保温≥410℃。计划长期停车并卸出催化剂时，停车前通以≥400℃的干空气，置换系统中的 SO_2 和 SO_3，然后逐渐降温，至室温可卸出催化剂。

中毒 钒催化剂在正常使用条件下其寿命可达 8～10 年或更长，缩短使用寿命的主要原因有（1）砷、氟中毒；（2）酸雾侵蚀；（3）水分浸溶；（4）矿尘覆盖等。所以，进料气体要预先经除尘、除酸雾，控制砷、氟含量等。101～S106 等型号可允许 $As_2O_3<30mg/Nm^3$；S101-2H 要求 $As_2O_3<5mg/Nm^3$；S107-1H 要求 $As_2O_3<1mg/Nm^3$。进气中酸雾 $<5mg/Nm^3$，水分 $<0.1g/Nm^3$。

用途 用于接触法生产硫酸，催化 SO_2 氧化为 SO_3 的反应

$$SO_2+\frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons SO_3 \quad +Q$$

S101 用接触法硫酸生产中，将 SO_2 氧化为 SO_3。S101-6 有较大颗粒直径和较高的机械强度，适合于通气压力降较低的硫酸生产厂。S101 进气杂质含量：水分 $<0.1g/m^3$（V_N），酸雾 $<0.005g/m^3$（V_N），矿尘 $<1mg/m^3$（V_N），砷 $<1mg/m^3$（V_N）。S106 用于原料气含砷 5～50mg/m³ 的接触法硫酸生产。S107 用于接触法生产硫酸中的转化器一段或末段，是一种低温型催化剂。S107-1H 由于催化剂床层自由空间较大，所以适合气体净化较差的硫酸厂。S107 进气杂质要求：水分 $<0.1g/m^3$（V_N），酸雾 $<0.005g/m^3$（V_N），矿尘 $<1mg/m^3$（V_N），砷 $<1mg/m^3$（V_N）。

S107-6 因颗粒直径大，机械强度高，所以适合通气压力降较低的硫酸生产厂。S108 用于接触法生产硫酸。FV1（中温），FV7（低温型）SO_2 氧化钒催化剂是沸腾床钒催化剂。S108 进气杂质要求：水分 $<0.1g/m^3$（V_N），酸雾 $<0.03g/m^3$（V_N），矿尘 $<5mg/m^3$（V_N），砷 $<1mg/m^3$（V_N），氧 $<1mg/m^3$（V_N）。

生产厂家 南京化工集团公司催化剂厂、四川化工集团公司催化剂厂、湖南湘南化工厂、山东安丘化工总厂、辽宁盖县催化剂厂、南京

化工研究院、开封化肥厂催化剂厂、衡阳市湖南化工厂、河南开封开化集团有限公司等。

02702 氨氧化制硝酸催化剂 oxidation ammonia to acid catalyst

基本配方和结构

型号	S201	四组分合金网
Pt%	>92	Pt-Pd-Rh-稀土
Pd%	3.8～4.2	
Rh%	≥3.4	
$Fe\times10^{-6}$	150	
$Ni+Cu+Cr\times10^{-6}$	<200	
$Sn+Zn\times10^{-6}$	<150	

S202 为非铂催化剂，主要活性组分为 Co_3O_4（以 CoO 计约 90% 左右）；少量添加剂（可以是 Bi，Al，Ni 或 Ce 的氧化物）。

性状

型号	S201	S202	四组分合金网
外观	银灰色金属网	灰黑色圆柱体	银灰色网
尺寸/mm	丝径 0.088～0.093，网孔数 960～1056 孔 cm^2 网径公差 +10mm，-5mm 洛氏硬度 72kg/mm^2	$\phi5\sim\phi5$	丝径 0.09（+0.003：-0.002）网孔数 1024（+65：-63）孔/cm^2 网径公差 +10mm，-5mm
堆密度/(kg/L)		2	
比表面/(m^2/g)		3～5	
抗压强度		正压(轴向) >6.0MPa	
侧压(径向)/(N/cm)		>100(N/cm)	

制法 用硝酸将金属钴融化，用 NaOH 或 $NaCO_3$ 溶液中和沉淀，冲洗沉淀。再经过滤、干燥、碾压、造粒、煅烧、混合、压制成型，即得成品。

使用条件

型号	S202
压力/MPa	200～3000

型号	S202
温度/℃	700～800
气空速/h^{-1}	3000～9000
入口 NH_3 浓度 V/(9.5～10.5)%	氨浓度>99%

用途 用于氨氧化法制硝酸生产中由 NH_3 制备 NO 的催化反应过程。特别适合缺铂地区或小型硝酸厂使用。但要注意（1）起燃，该催化剂不需活化，当催化剂床层温度升至250℃时，即可通入氨起燃。点火可在空气中以氢焰或氢氧混合气点燃，但应注意点火时要严防火焰熄火，否则会导致有活性的 Co_3O_4 被氢气还原成无活性的 CoO。（2）再生，在高温下长期使用，催化剂表面为杂质覆盖，活性下降。所以每使用3个月后，应卸出再生。先用5%盐酸于80～85℃下加热，然后洗净，再用38%硝酸，在室温下浸渍。浸饱和后洗净、干燥、煅烧，则可再使用。经多次再生后不再使用，交催化剂厂回收钴。

S201是硝酸制备中氨氧化制备一氧化氮的催化剂。S202主要用于硝酸生产中氨氧化制备一氧化氮。

生产厂家 南京化工集团公司催化剂厂等。

02703 国外硝酸生产用铂网催化剂（部分） overseas ammonia oxidation catalyst

基本配方和结构

型号	DB750	新型	JMM10	95Pt5Rh	PtRhPd
（国名及公司）	美 Engelhard		英 JMM	德 Degussa	俄 ТИАП
Pt%	90	45～55	90	95	92.2～92.8
Rh%	10	5～7	10	5	3.3～3.7
Pd%	0	30～40	0	0	3.8～4.2

性状

型号	DB750	新型	JMM10	95Pt5Rh	PtRhPd
（国名及公司）	美 Engelhard		英 JMM	德 Degussa	俄 ТИАП
外观	方或六角		圆形	圆形	圆形方形
尺寸/mm	<1000		ϕ<5000	ϕ<3000	ϕ<(500～3900)305×305
网丝直径/mm	0.06	0.06	0.06	0.06	0.092
网目	1024	1024	1024	1024	1024
质量/gm^{-2}	389		385	417	980

制法　共浸工艺

使用条件

型号	DB750	新型	JMM10	95Pt5Rh	PtRhPd
(国名及公司)	美 Engelhard		英 JMM	德 Degussa	俄 ТНАП
压力/MPa	0.8～1	0.8～1	0.7～0.9	0.1～0.4	0.1～0.5
温度/℃	900～950	900～950	880～930	800～880	780～850
网数/张	10～30	10～30		3～5	

用途　参见氨氧化制硝酸催化剂。

参　考　文　献

1　南京化学工业公司催化剂厂编．钒催化剂．北京：化学工业出版社，1980．78～85

2　陈五平主编．无机化工工艺学．第二版（二）硫酸与硝酸．北京：化学工业出版社，1980．104～109

3　化学工业出版社组织编写．化工产品手册第13分册·新领域精细化学品　第3版．北京：化学工业出版社，1999

4　闵恩泽著．工业催化剂的研制与开发．北京：中国石化出版社，1997

5　向德辉，刘惠云主编　化肥催化剂实用手册．北京：化学工业出版社，1992

6　南京大学化学系催化教研室，南京化学工业公司催化剂厂编．一氧化碳中温变换催化剂．北京：化学工业出版社，1979．93～99

7　冯元琦主编．甲醇生产操作问答　北京：化学工业出版社，北京，2000年5月第一版

8　汪多仁主编．催化剂化学品生产技术．科学技术文献出版社，2001

9　钱旭红，莫述诚．现代精细化学化工产品技术大全．北京：科学出版社出版，2001

第三章　环保催化剂

环保催化剂是指用于处理有害气体、液体和固体的催化剂，其目的是通过这些催化剂上的催化反应来减少或消除这些污染物的污染问题，达到保护环境的目的。

环保催化剂是伴随着工业发展过程而产生的，其发展程度主要受人们对环境污染导致的严重性的认识程度影响，与各国环境保护的相关法律要求程度密切相关。环保催化剂的迅速发展主要得利于汽车尾气处理催化剂的开发和应用，按目前全世界催化剂的销售额计，其中40%是环保催化剂。特别是用于汽车尾气处理催化剂，每年约38亿美元。而70年代中期仅3.5亿美元，占总销售额的15%。预计2001年将达到40亿美元，占工艺催化剂销售额的37%。

环保催化剂与其他工艺用催化剂有所不同：它要求的处理量大；被处理的气体或液体浓度往往很低；被处理物往往含粉尘、重金属、酸物、硫、砷、卤化物等催化毒物。这就要求催化剂应具有良好的抗毒性、稳定性与选择性，以及高活性和较广的使用范围。此外还要求设备体小、投资少、结构简单，不能造成二次污染。

在固体废弃物、工业废水和各种有害气体中，对人类生存条件威胁最大的就是大气污染及水源污染。因此，环保催化剂的最主要目的就是解决这两类污染源的污染问题。大气污染源主要来自汽车尾气，其次是火力发电厂，再次为各种工业废气。目前，污染大气环境主要物质是CO_2，CO，CH_4，非甲烷挥发性有机物VOC，NO_X，SO_X及N_2O等。水源污染主要源于各种工业废水的排放污染，利用光催化转化、生物催化转化，及吸收吸附等催化方式解决废水污染问题已成为目前废水处理的一个主要发展方向。然而由于其品种繁多，条件各异，而且大多数催化方式目前处于工业应用前期和初级阶段，现阶段尚未形成一个统一规范的市场。固体废弃物品种繁多，处理方式各异，在催化方面，主要采用催化氧化和催化燃烧方式进行处理。

能小、孔密度高、接触面积大及排气压力小等特点，但这种载体导热性能差、机械性能不好、抗冲击能力低。金属蜂窝状整体式载体是近年来发展起来的一种催化剂载体，它与陶瓷式载体相比，具有壁薄（薄度可达50μm，因而面积和孔隙率大）、导热性能好、抗震强度与性能好及结构紧凑等优点。但其也有热膨胀系数大、活性组分附着差及成本高等缺点。不过，金属载体式催化剂在改善发动机功率和排气净化两方面极具潜力，已成为汽车尾气处理催化剂载体的一个重要发展方向。

催化剂的涂层　催化剂的涂层是汽车尾气处理催化剂的一个特有的重要工序，它是保障催化剂活性组成与载体有效牢固结合并能极大地发挥活性组成作用的重要工艺过程，也是各制造商重点保密的关键点之一。目前，涂层材料多用Al_2O_3，也有以Al_2O_3为主添加其他有效组分的配方形式。

部分代表性型号：

型号	NC3401-1	PTX	P470	PC413	PC416	C140
活性组成	Pt	贵金属	贵金属	贵金属	贵金属	贵金属
载体	蜂窝陶瓷	球形或蜂窝陶瓷	Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3	载体

性状　催化剂的外观形状主要决定于载体的形状与尺寸大小，目前三效催化剂多采用蜂窝状模块，通常蜂窝陶瓷载体制成ϕ125×85mm圆柱形或ϕ145×80×128mm椭圆柱形，其他类型催化剂的外观形状球形和蜂窝状的都有，具体规格依据用户需求提供。

部分代表性型号示例

型号	NC3401-1	PTX	P470	PC413	PC416	C140
外观	黄灰色正方形或圆形蜂窝模块	球形或蜂窝状	球形	球形	球形	
尺寸	根据用户需求		ϕ2.4～ϕ4mm	ϕ2.4～ϕ4mm	ϕ2.4～ϕ4mm	
堆密度	0.4～0.5kg/L					
比表面	0.2～1.0m^2/g					

制法　催化剂的制备过程是其技术关键，因此基本处于保密状态。一般来说，对于蜂窝状陶瓷基负载的三效汽车尾气净化催化剂，其制备工艺大体为

专用氧化铝溶液　　活性组分溶液

载体→挂浆→干燥→煅烧→浸渍→煅烧→成品

其他类型的汽车尾气净化催化剂大体上与其类似。

对于汽车尾气净化催化剂整体而言，活性中心结构的制备、负载技术及涂层技术是影响催化剂性能的三大关键点，缺一不可。制备中，浸渍用活性组分可以是贵金属溶液，也可以是复合常见金属盐溶液。一致认为贵金属硝酸盐优于氯化物。对于金属蜂窝载体涂层，近年推出一种金属壁与催化层一体化技术，它是将金属铝用2%～6%草酸在室温下阳极氧化成一层氧化铝膜，再经水合处理和350℃焙烧形多孔形载体，然后用浸渍法将活性组分负载到载体上，经高温焙烧即成，金属可事先制成蜂窝状。

使用条件　催化剂是装填在汽车排气净化消声器内的，当发动机点火，排气温度达到催化剂点火温度即可起到氧化转化CO和碳氢化合物及还原NO_X的作用。催化剂的组成和种类不同，其使用条件是不尽相同的。一般称催化转化器转化效率为50%所对应的温度为催化转化器的起燃温度。总体上看，催化剂起燃温度150～300℃左右；催化剂使用温度范围230～900℃；耐热温度900℃；使用空速8000～120000h^{-1}。按GB 11642—89标准检测，热态起步工况测定净化率性能：CO ≥90%，HC≥90%，NO_X≥30%。正常使用寿命约5万公里。

三效催化净化法是一种需要使用氧气探测器、反馈控制机构、电子控制的燃料喷射装置，并可燃混合气的空燃比始终控制在理论空燃比附近，以一级催化方式同时将CO、NO_X和HO三种有害成分除去的排气净化方法。此方法只有在汽油机化学当量燃烧，也就是过量空气系数为1时才能实现，因为，NO_X在催化器中的还原需要H_2、CO和HC等作为还原剂。空气过量时，这些还原剂首先和氧反应，所以NO_X的还原反应就不能进行。空气不足时，CO和HC则不能被完全氧化。除了过量空气系数以外，温度对催化转化器转换效率也有很大影响。三效催化转化器起燃温度一般在220℃左右。在内燃机冷起动时，催化转化器的温度很低，会影响转化效率，需特殊措施来解决。

Signal 和 UOP 等。国内主要代表厂商有南京化学工业集团有限公司催化剂厂、中科院环境化学研究所、北京长城催化剂公司、中科院生态环境研究中心、土左旗催化剂厂、抚顺市华化工一厂和南化公司催化剂厂等。

03102 **部分贵金属型汽车尾气净化催化剂** noble-metal-containing catalyst for decontamination of automobile gas

其他名称 汽车排气净化催化剂；汽车排气控制催化剂

基本配方和结构 主要活性组成 以贵金属和其他金属或氧化物的混合体为催化剂的主要活性组分，目的是减少贵金属的用量，降低成本。贵金属主要为 Pt、Pd、Rh；其他组分的加入对不同的催化剂各有不同。目前，多为过渡金属（V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu 等）及其氧化物，以及稀土类氧化物（常采用 La 和 Ce）。结构上一般为贵金属和其他金属或氧化物的混合体形式或复合氧化物形式（常采用钙钛矿型和尖晶石型）。

主要载体 载体主要为颗粒状 Al_2O_3 及蜂窝状陶瓷基堇青石，金属蜂窝状整体式载体也有使用。目前也有研究人员开发其他类型的载体如分子筛、TiO_2 等。

催化剂的涂层 涂层材料多用 Al_2O_3，也有以 Al_2O_3 为主添加其他有效组分如 CaO 等的配方形式。

部分代表性型号

型号	NC3401-2	KYQJ/BLJQ	FD-01/FD-02
活性组成	非贵金属与少量 Pd	稀土非贵金属与 Pt、Pd、Rh	稀土基低贵金属
载体	Al_2O_3、蜂窝陶瓷	球形或蜂窝陶瓷 CaO 涂层	不详

型号	HR	AERO Ban	KCE/KCT-S9	ACK-V
活性组成：稀土基低贵金属	V_2O_5(4%～7%) CuO(3%～7%) Pd(0.01%～0.015%)		贵金属与金属氧化物	X-Y
载体	堇青石蜂窝陶瓷	SiO_2 (81%～88%) Al_2O_3 涂层	以氧化物(耐热)硅酸盐或金属为载体	Al_2O_3

性状 部分代表性型号

型号	NC3401 2	KYQJ/BLJQ	FD-01/FD-02
外观	浅灰色小球	球形、圆柱形	
尺寸	ϕ3.0～ϕ5mm	ϕ3～ϕ8mm ϕ145×80×128	
堆密度	0.65～0.75kg/L		
比表面	120～150m^2/g		

型号	HR	AERO Ban	KCE/KCT-S9	ACK-V
外观		片状	条状、球形或蜂窝状	空心球形
尺寸		ϕ1.5×2.8		
堆密度		0.65kg/L		
比表面		146m^2/g		

制法 专用氧化铝溶液 活性组分溶液

载体→挂浆→干燥→煅烧→浸渍→煅烧→成品

使用条件 FD 型的起燃温度为 320℃，三效性良好，净化率均在 85%以上（340℃），空燃比特性好。经 5 万公里老化实验，老化系数小于 1.1（标准 1.2），空燃比 14.6，耐热，前后 CO，HC，NO 转化率大于 88%。特点：起燃温度低，耐热性好，寿命长。

AEROBAN 行车 12000km，初期尾气中含烃 118×10^{-6}，后期含烃 35×10^{-6}，初期 CO：0.5%，后期 CO：1.3%。不能除去 NO_X，易为铅中毒。

用途 主要用于汽车尾气净化。

KYQJ/BLJQ 适用于含一定量铅汽油（不含铅更好），广泛用于印刷涂料、漆包线、自行车、缝纫机、汽车。也可用于东风 140 车、130 卡车、121/212 吉普车等的汽车尾气净化。

FD 型汽车尾气催化净化器可与不同车型配套。

KCE 用于工业排放废气中有机物，CO 及氨的氧化，电烤箱和马弗炉的消臭以及汽车和柴油机排放废气处理。

KCTS9 对汽车尾气中 CO，烃类及 NO_X 用平床三效催化处理。

ACK-V 用于汽车尾气氧化处理。

生产厂家 北京蓝天大气环保设备厂、中国科学院生态中心、中科院北京农村经济技术发展部科怡净化高技术公司、中科院大连化物所、华东理工大学、华北大学、南京化学工业集团有限公司催化剂厂、中科院环境化学研究所、衡阳市湖南化工厂、福州大学化肥催化剂国家

工程研究中心、美国氰胺公司等。

03103　**非贵金属型汽车尾气净化催化剂**　non-noble metal catalyst for decontamination of automobile gas

其他名称　汽车排气净化催化剂；汽车排气控制催化剂

基本配方和结构　主要活性组成　以非贵金属或氧化物为催化剂的主要活性组分。目前，多为过渡金属（V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu等）及其氧化物，以及稀土类氧化物（常采用La和Ce）。结构上一般为金属氧化物或复合氧化物形式（常采用钙钛矿型和尖晶石型）。

主要载体　载体主要为颗粒状 Al_2O_3 及蜂窝状陶瓷基堇青石

催化剂的涂层　涂层材料多用 Al_2O_3，也有以 Al_2O_3 为主添加其他有效组分如CeO等的配方形式。

部分代表性型号

型号	CM-TYPE	PC173	XLC-1001型
活性组成	非贵金属	Cr_2O_3	La，Cu，Mn
载体	蜂窝陶瓷	Al_2O_3	

以下为中国部分尾气净化催化剂专利中所述主要成分，仅供参考。

年份	专利号	专利权所有者	发明人	专利要点
1986	CN85102282A	中国科学技术大学	林培琰	粒状氧化型含Cu-V-RE，$SO_2<50\times10^{-6}$
1986	CN85104402A	北京工业大学	郑菁英	粒状氧化型10%～20%载Cu-Mn-稀土-Ba
1986	CN85109694A	华东理工大学	汪仁	蜂窝状 Al_2O_3 涂层，含Cu-V-Mn-Co-Ni-Re
1987	CN86105768A	北京工业大学	徐锦航	合金载体含轻稀土Fe，ABO_3 或 K_2MgF 型
1990	CN1046473A	中科院大连化物所	李北芦	蜂窝状改性 Al_2O_3 涂层 Fe_2CO，Ni，Mn，Cu，Cr，Ce
1992	CN1058357A	北京大学	康有祺	莫来石微球载体氧化型非贵金属 ABO_3 型

年份	专利号	专利权所有者	发明人	专利要点
1993	CN1072107A	桂林利凯特公司	金涧波	非贵金属三效抗铅中毒含稀土
1995	CN1104127A	金涧波	金涧波	CuO 为主，过渡金属，稀土为助剂
1996	CN1129146A	山西净土有限公司	段忠善	含 Cu, Co, Ni, Zn, Mn, Cr, Nd, 三效

性状 部分代表性型号

型号	CM-TYPE	PC173	XLC-1001 型
外观	黑色蜂窝状	球形	深褐色球状
尺寸	$\phi50\times100$ $\phi125\times100$ $\phi125\times50$ $\phi40\times85$(跑道型) $\phi120\times80\times110$(跑道型)	$\phi2.4\sim\phi4$	$\phi5\sim\phi7$mm
堆密度	0.65～0.75kg/L	0.7kg/L	0.7～0.8kg/L
比表面	120～150m^2/g	260m^2/g	70～90m^2/g

制法 专用氧化铝溶液、活性组分溶液

载体→挂浆→干燥→煅烧→浸渍→煅烧→成品

使用条件 CM-TYPE 型的起燃温度 150～300℃，空速 20000～40000h^{-1}，催化剂耐热温度 900℃；净化率：CO＞90%，烃类＞85%，NO_X＞70%，耐焦油烟雾及 30×10^{-6}的 SO_2。

XLC-1001 型的起燃温度 300℃，气空速 10000h^{-1}，转化率 CO＞97%，HC＞85%

用途 主要用于汽车尾气净化。

PC173 用于柴油机排放废气脱除烃。

XLC-1001 型用于汽车尾气净化，保护城市环境，工业有机合成排气中有毒气体。对 CO 和芳烃净化效果较好。

生产厂家 中科院北京农村经济技术发展部科怡净化高技术公司、中科院大连化物所、华东理工大学、东北大学、南京化学工业集团有限公司催化剂厂、中科院环境化学研究所、衡阳市湖南化工厂、福州大学化肥催化剂国家工程研究中心、美国氰胺公司等。

XLC-1001 型生产厂家为沈阳催化剂厂。

除此之外，还有一些企业生产尾气净化催化剂，多以三效尾气净化催化剂为主。例如：无锡威孚力达催化净化器公司（JJK-1 型）、北

京兰天大气环保设备厂（BLJQ-3）、北京绿墨特种催化剂公司（Ⅰ、Ⅱ型）、北京绿创环保科技公司（科华 JX）、北京中科院生态环境中心（HR）、山西净土实业公司（QJK-1）、上海君诚实业公司（JXQ-Ⅵ）、上海高科环保发展公司（高科Ⅳ）、汕头金园区催化剂厂（标旗 GF）、珠海高新技术公司（QJ）等。

第二节　烟气脱硫催化剂

火力发电厂、冶炼厂、化工厂、焦化厂及其他以煤、重油等为原料的工厂，其排放废气中大多不同程度的含有 SO_2 和 H_2S。为保护环境，必须将其脱除后方能排入大气。根据尾气中这些污染物的情况和工厂的具体条件，有各种脱除方法，其中利用催化法脱除 SO_2 和 H_2S 是目前的发展方向。催化脱硫的方式大体有三类：催化氧化法，即将 SO_2 催化氧化成 SO_3 至硫酸加以回收；氧化还原法，即利用克劳斯反应将 SO_2 和 H_2S 还原为单质硫加以回收；催化吸收法，主要利用吸附剂将 SO_2 和 H_2S 先吸收再采用其他方法加以回收利用。本节主要以此三个方面进行介绍。

03201　SO_2 氧化脱硫催化剂（Ⅰ）　oxidative desulfueization catalyst of SO_2（Ⅰ）

其他名称　V 系脱硫催化剂

化学组成

型号	TYPE589（标准型）	TYPE636（低燃点型）
	(6～7)%	(6～7)%
	V_2O_5,-K_2O-Na_2O/SiO_2	V_2O_5,-K_2O-Na_2O/SiO_2

性状

外观	条　状	条　状
尺寸/mm	$\phi5\times(8\sim11)$,$\phi6\times(8\sim11)$	$\phi6\times(8\sim11)$
堆密度/(kg/L)	0.61	0.60
腐蚀率/%	＜10	＜10

制法　参见硫酸生产用的 V 系催化剂的制备工艺。

化学组成

型号	NCT-10	NCT-11	NCT-12
组成	以 Al_2O_3 为主活性组分		

NTC-11 是在 NTC-10 型中加入特殊氧化物。

性状

型号	NCT-10	NCT-11	NCT-12
外观	白色球	白色球形颗粒	白色球形颗粒
尺寸/mm	$\phi5\sim\phi7$	$\phi4.0\sim\phi6.0$	$\phi3\sim\phi5$
堆密度/(kg/L)	0.65～0.7	0.65～0.75	0.69
比表面/(m^2/g)	240～260	180～220	204

制法 工业氧化铝→溶解→沉淀→水洗→压滤→干燥→粉碎→滚球→热煮→干燥→成品

使用条件 开车时先用氮气吹扫，以除去物理吸附水；操作温度：270～300℃；进口水蒸气含量：<27%；空速：1000～2500h^{-1}。

其基本原理是利用煤燃烧过程中不完全燃烧所产生的 CO 及水煤气变换反应所生成的 H_2 为还原剂，将烟道气中 SO_2 选择性地直接还原成元素硫。这既能消除烟道气中 SO_2 的污染，又能获得有用的化工产品。其工艺流程如下图所示

还原剂调节及补充

↓

烟道气→电除尘→预热→催化反应器→硫磺收集器→放空

电除尘后的烟道气预热至 250～300℃。由于煤或其他燃料燃烧状况不同，所含 CO 及 H_2 浓度亦各异，所用煤或其他燃料硫含量也有差别，故烟道气中 SO_2 有所不同，需根据 SO_2 含量，CO 与 H_2 浓度，调节并补充适当还原剂。所用催化剂为负载型复合氧化物，早期曾用 10%CuO/90%Al_2O_3 作催化剂。补充的还原剂可以是 H_2S，H_2，CO 或 CH_4。催化反应温度为 400℃，空速为 10^4h^{-1}。此法优点在于工艺简单，并回收成具一定经济价值的元素硫，回收成本也较低，故此法前景看好。

用途 为焦炉煤气净化回收硫的克劳斯反应专用催化剂，主要是在焦炉气的净化和化学回收时，使 H_2S 与 SO_2 在该催化剂作用下，按克劳斯反应生成元素硫，也适用于含硫原油、含硫天然气加工及焦炉煤气、城市煤气净化、氨厂、甲醇生产厂等双脱硫污液再生塔释放出来

的硫化氢酸气处理中的回收硫磺克劳斯装置。NTC-11 在 H_2S 中含有 COS 时间此催化剂放在第一反应段上部，以促进有机硫水解氢解，并同时有克劳斯反应发生。用内衬塑料袋的铁桶包装，防潮，防摔衮、撞击。

生产厂家 南京化学工业（集团）公司催化剂厂

03204 **催化还原脱硫催化剂（Ⅱ）** catalytic reduction desulfueization catalyst of SO_2（Ⅱ）

其他名称 活性氧化铝脱硫催化剂

化学组成

型号	WHA-201A/WHA-201B	RS100/RS103
主要组成	通式 $Al_2O_3nH_2O$ $n<0.5$	$CoO·MoO_3$ 促进剂/Al_2O_3
	Na_2O (0.25～0.3)%	
	Al_2O_3 94%	

另外，还有 AA332-2、AA332-1、AA335、GL-H3、TSZ-1 等型号。

性状

型号	WHA-201A	WHA-201B	RS100	RS103
外观	白色球	白色球	球形	球形
尺寸/mm	ϕ4～ϕ6	ϕ4～ϕ6	ϕ4～ϕ6	ϕ4～ϕ6
堆密度/(kg/L)	0.65	0.65～0.74		
比表面/(m^2/g)	≥200	280		
孔容/(cm^3/g)	0.4	0.45		

型号	AA332-1	AA332-2	AA335	GL-H3	TSZ-1
外观	白色球	白色球	球形	球形	球形
尺寸/mm	ϕ5～ϕ7	ϕ5～ϕ7	ϕ4～ϕ6	ϕ4～ϕ6	ϕ4～ϕ6
堆密度/(kg/L)				0.75～0.76	0.75～0.85
比表面/(m^2/g)	≥230	≥200	≥200	200～260	≥230
孔容/(cm^3/g)	≥0.4	≥0.4	≥0.4	0.38	0.4

制法 工业氧化铝→溶解→沉淀→水洗→压滤→干燥→粉碎→滚球→热煮→干燥→成品

使用条件 开车时先用氮气吹扫，以除去物理吸附水；操作温度：

性状

型号	NCA-2 / YWC-95 / TDNF-3
外观	灰黑色球状
尺寸/mm	ϕ20 ± 2
堆密度/kg·L^{-1}	1.5 ± 0.1
比表面/m^2·g^{-1}	3
平均抗压强度/（N/颗）	≥1000
耐温	1300℃

使用条件

压力/MPa		常压	
温度/℃	270 ~ 400	270 ~ 400	270 ~ 425
气空速/h^{-1}		500 ~ 750	
进口粉尘含量		< 1mg/Nm^3	
进口碱含量		< 1mg/Nm^3	

出厂时为氧化态，开车时用干净气体升温至600℃之后，用空气、煤气继续升温至1200℃，还原48h。

用途　主要用于焦化厂的尾气脱硫。

生产厂家　山东齐鲁石化研究院、四川天然气研究院、江苏宜兴特种耐火材料厂、江西萍乡市化工填料有限公司、西南油气田分公司研究院等。

03206　脱硫吸附剂（Ⅰ）　adsorbent for desulfurization（Ⅰ）

其他名称　粗脱硫用活性炭

基本配方和结构　主要组成：C

性状

型号	RS-1	RS-2	RS-3	RS-4	TA-1	TA 2
规格/mm	2.5 ~ 5.5	2.5 ~ 5.5	ϕ3 ~ ϕ4	ϕ3	2.5 ~ 5.5	2.5 ~ 5.5
堆密度/(kg/L)	0.65	0.5 ~ 0.55	0.4 ~ 0.45		0.55	0.50
比表面/(m^2/g)	150	900			>250	
总孔容/(ml/g)	0.3 ~ 0.45	0.6 ~ 0.75	0.65 ~ 0.75	0.85	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 0.75
中孔容/(ml/g)	0.17	0.3	0.37	0.40		
微孔容/(ml/g)			0.27	0.30		

型号	RS-1	RS-2	RS-3	RS 4	TA-1	TA-2
水容量/%	≥45	≥60	≥70	≥70	>50	>65
硫容/(ml/g)	>600	800	1050	1100	>600	>800
工作硫容/%					20	
H_2S脱除率/%					>90	>95
HCl脱除率/%						

型号	BRS-1	BRS 2	新华5#	防净2#	ZL-30
规格/mm	φ2～φ6	φ2～φ6	φ3×10	0.8～2.4	φ3
堆密度/(kg/L)	0.60	0.50		0.22	
比表面/(m^2/g)	300	900		1300	
总孔容/(ml/g)	0.3～0.6	0.6～0.75	0.75～0.85	1.02	
中孔容/(ml/g)					
微孔容/(ml/g)				0.45	
水容量/%	≥45	≥65			
硫容/(ml/g)	>600	>850	>4500		>880
工作硫容/%					
H_2S脱除率/%	>90	>95		>98	
HCl脱除率/%				90>	

注：以上催化剂含水均小于5%，磨耗均小于10。

制法 原煤破碎→磨粉→制煤膏→挤条成型→炭化→活化→筛选→成品

用途 用于吸附脱除半水煤气对原料气中的硫化氢及部分吸附包括噻吩、二硫化碳在内的有机硫（但对COS吸附效果很差），并可再生使用。

生产厂家 太原新华活性炭厂、北京市北郊活性炭厂等。

03207 脱硫吸附剂（Ⅱ）adsorbent for desulfurization(Ⅱ)

其他名称 精粗脱硫用活性炭

基本配方和结构 主要组成：C

性状

型号	KC-1	KC-2	KT-312	T101(EAC)	SN-3
外观	黑色无定型	黑色颗粒	黑色无定型	黑色条	黑色条
规格/mm	φ3～φ6	φ(3～4)×(2～5)	φ2.4～φ4.7	φ(3～3.5)×(5～15)	φ4×(2.5～10)

型号	KC-1	KC-2	KT-312	T101(EAC)	SN-3
堆密度/(kg/L)	0.5～0.6	0.5～0.6	0.5～0.6	0.6～0.8	0.6
比表面/(m^2/g)	900～1000	900～1000	700～800		>500
孔容/(ml/g)	0.5～0.6	0.5～0.6	0.5～0.6		0.3～0.4
侧压强度/(N/cm)					50
磨耗率/%	5	<3	<5	<3	<3
穿透硫容/%	≥30	>25	6～8		2
有机硫脱除率/%	85	85		≥80	
备注		工业化	>220℃ 蒸汽再生	COS硫容 1%～2%	立升级试验

制法 活性炭→浸渍→干燥→煅烧→过筛→成品

使用条件

压力/MPa	不限	不限	0.1～2.0	0.1～8.0	0.1～4.0
温度/℃	20～50	20～50	30～80	10～80	>40
气空速/h^{-1}	1000～2000	1000～2000	500～1000	1000～2000	150～400
液空速度/h^{-1}	—	—	1～2	—	—
高/径	>3	>3	>4	1.5	>4
水汽含量/%	饱和	饱和	干气	饱和	0.3～0.4
入口 H_2S/×10^{-6}	1～200	1～200	7～70		COS 2～70
出口 H_2S/×10^{-6}	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	COS3

用途 经改性的活性炭，不仅具有吸附性能，而且还有吸收性能。因此，可单独使用，也可与氧化锌脱硫剂串联使用，以达到精脱硫的目的。

生产厂家 湖北化学所、西北化工研究院、江苏昆山联营厂等。

03208 脱硫吸附剂(Ⅲ) adsorbent for desulfurization (Ⅲ)

其他名称 铁锰脱硫剂

基本配方和结构

型号	LS-1	SH-TS11/SH-TS12	MF-1	MF-2
活性组分	Fe+Mn+Zn+Mg	Fe+Mn+Zn+Cu	Fe+Mn+Zn	Fe+Mn+Zn
含量/%	≥35		≥55	≥42

性状

型号	LS-1	SH-TS11/SH-TS12	MF-1	MF-2
外形尺寸/mm	ϕ9×5片	ϕ5×(5-15)条	ϕ9×5 ϕ5×5片	ϕ9×5 ϕ5×5片
堆密度/(kg/L)	1.35~1.45		1.35~1.40	1.3~1.5
比表面/(m^2/g)	约40			约34
孔容/(ml/g)	0.14		0.13	0.2
平均孔半径/(ml/g)	162×10^{-10}			115×10^{-10}
侧压强度/(N/cm)	≥160		≥80	≥160
磨耗率/%	<11		≤14	≤15
穿透硫容/%			5~7	≥11
双槽累计硫容/%	≥7		16	16~20
适用场合	半水煤气、变换气		焦炉气、天然气	

制法

MgO,水,助剂

↓

LS-1型:矿石→破碎→烘干→球磨→混合→压制成型→烘干→成品

水,助剂

↓

MF-2型:矿石→破碎→烘干→球磨→混合→压制成型→烘干→成品

使用条件

压力/MPa	0.1~3.0	0.1~4.0	0.1~4.0	0.1~4.0
温度/℃	200~250	250~420	350~400	350~400
气空速/h^{-1}	100~500	250~420	100~1000	100~1000
入口氢/%			2~5	2~5
入口氧/%	<0.5		≤0.1	≤0.1
高/径	>3		>2.5	>3.0
水分/%	≤4		≤4.0	≤4.0
线速度/(m/s)	0.3~0.6			
入口硫/10^{-6}	100			
出口硫/10^{-6}	0.1			

用途 主要用于半水煤气、天然气、变换气、石灰窑气等各种工业用原料气的精脱硫，也可用于电厂等烟道气的脱硫。

生产厂家　化工部西南化工研究所等。

03209　脱硫吸附剂(Ⅳ)　adsorbent for desulfurization (Ⅳ)

其他名称　氧化锌脱硫剂

化学组成

型号	G72－A	G72－B	G72－C	C7－2
性状				
外观	条状	条状	条状	粒状
尺寸/mm	4.76	4.76	3.18～4.76	4.76
堆密度/(kg/L)	1.76	1.76	1.2	1.05
使用条件				
硫容/%	7	10～15	15～20	3～18
温度/℃	250～350	250～350	350～400	350～400
入口气中硫/×10^{-6}	200	200	200	
出口气中硫/×10^{-6}	1	1	1	

用途　除去天然气、炼厂气、焦化、制苯、煤制气、农药、人造纤维等生产过程中产生的H_2S。也用于除去硫醇、碳氧硫及电厂等烟道气的脱硫。

03210　含硫有机废气净化催化剂　catalyst for removing sulphur-containing waste organic gas

其他名称　RS-1 型含硫有机废气净化催化剂

基本配方和结构　以V_2O_5为主要活性元素，以过渡金属氧化物及微量 Pt 为助催化剂，以改性天然丝光沸石为载体。

性状　外观：黄色无定型颗粒。外形及尺寸：3～5mm。堆密度：约 0.85kg/L。比表面：约 100m^2/g。

制法

1. 载体制备

缙云天然丝光沸石→酸煮→水洗→干燥→煅烧→载体

2. 浸活性组分

V_2O_5及过渡金属氧化物→溶液配制→浸渍→干燥→煅烧→半成品

3. 浸 Pt

$Pt(NH_3)_4Cl_2$ 溶液→配制→浸渍→干燥→煅烧→成品

使用条件

温度：260～280℃；压力：常压；空速：1000h^{-1}；反应物浓度：4000～8000mg/m^3。

用途　主要用于含硫有机物净化处理，经过该剂的催化作用，能把有机硫化物完全氧化成 SO_X，而不与 SO_X 发生化学吸附。

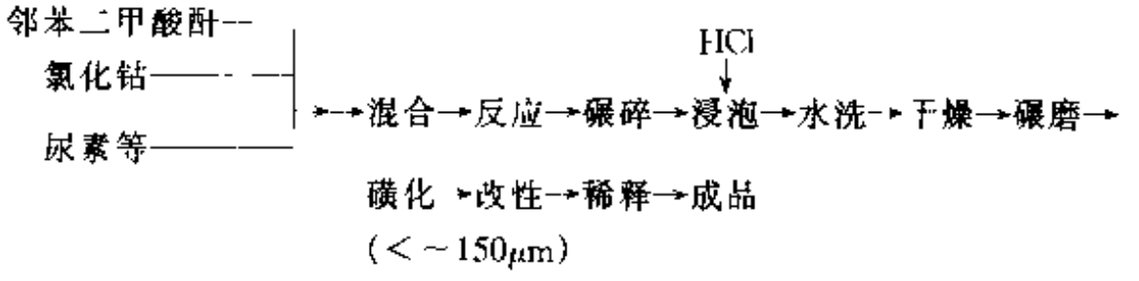
生产厂家　杭州大学催化剂研究室内研制。

03211　其他脱硫剂 other desulphurization agent

其他名称　PDS 脱硫剂

基本配方和结构　属酞箐钴系的化合物，共三种新发现的酞箐化合物与助催化剂的混合物。

制法



使用条件　脱硫温度：<35；压力：约 3.73×10^{-4}Pa；系统阻力降：约 1.6×10^3Pa；pH8～8.5；总碱度 0.4mol/L；再生温度：25～45℃(再生空气量 250～300m^3/h)。装于密封性良好的铁桶中。贮存在干燥通风场所，避免明火。防潮、防撞、防污染。

用途　每天称取 30～50g PDS 加入下口瓶中，并加 100g 碱用热水溶化搅匀，待溶液成天蓝色，又无沉淀，便可引到循环槽中，控制加料速度，以提高整个脱硫液的脱硫效率。

生产厂家　东北师范大学研制、生产。

第三节　固定源尾气脱氮催化剂

在烟道气中 NO_X 含量与 SO_X 相近，但对人类健康的威胁却超过

SO_X。日本环境厅在 70 年代中调查东京湾地区 NO_X 的发生源时发现，汽车尾气占 41.1%，发电厂烟道气占 15.2%，燃烧炉、硝酸工业等排放气占 34.6%，石油工业占 4.9%，商业及家庭占 1.5%，垃圾处理占 1.5%，可见，硝酸工业等排放气中的 NO_X 占固定源排放 NO_X 的主要部分，消除这些企业排放的 NO_X 则成为解决固定源排放 NO_X 污染的首要任务。本节将主要介绍消除硝酸工业排放 NO_X 污染的催化剂。

国内外处理硝酸尾气的主要方法基本上采用催化还原法，早年采用非选择性还原的较多，但近期都是用氨选择性催化还原工艺。

03301　**XW101 型硝酸尾气净化催化剂**　XW101 catalyst for nitric acid exhaust purification

其他名称　硝酸尾气净化催化剂

基本配方和结构　对选择性还原法一般都选用氨作还原剂，它可以用铂作催化剂，也可以用 V_2O_5，MnO_3，WO_3 等非贵重金属催化剂。选择性还原所用催化剂早期以贵金属为主，以铂优于钯，一般用 (0.2～1)%Pt 负载于 Al_2O_3 上，制成片剂、球形或蜂窝状。但近年都用非金属氧化物如 TiO_2，V_2O_3，MnO_3 或 WO_3 和分子筛催化剂。据研究，在各种非贵金属的氧化物中，还原 NO_X 的活性顺序依次为：

$$CuO \approx Fe_2O_3 \approx V_2O_5 > Cr_2O_3 > MoO_3 > WO_3 > ZnO \approx Co_3O_4 \approx SnO_2 \approx TiO_2 > NiO$$

对于 XW101 催化剂，主要以 Cu 为主要活性元素。

性状　外观：黄绿色圆柱体。外形尺寸：$\phi 5 \times (5 \sim 7)$mm。堆密度：0.8～0.9kg/L。比表面：约 $60m^2/g$。空隙率：40%。

制法　国内有两种硝酸尾气选择性还原催化剂，一种是共沉淀的亚铬酸铜负载于 Al_2O_3 载体上，$Cu_2Cr_2O_5$ 含量在 (20～25)%，Al_2O_3 含量≥70%，呈黄绿色 $\phi 5 \times (7 \sim 8)$ mm 圆柱形。其制备方法如下图所示：

原料→沉淀→水洗→压滤→干燥→混合→碾压→挤条→干燥→过筛→成品

另一种催化剂以铜和锰为主要组分，采用浸渍法生产，其制备工

艺见 8209 型。

使用条件　一般情况下，使用温度：280℃；压力：常压；空速：约 3000h $^{-1}$。

用铂催化剂使用温度为 180～290℃，金属氧化物则在 230～425℃，若要在 360～600℃更高温度下操作可使用分子筛催化剂。

使用选择性催化还原脱出烟道气中 NO_X 时需注意用高硫燃料时可能产生硫酸铵的影响，它会沉积有汽油器、空气加热器及下游其他设备的表面，因而降低了热效率。硫铵是由于烟道气所含 SO_2 被 SCR 金属氧化物催化氧化成 SO_3，SO_3 与水汽生成硫酸，再与未反应的氨作用而生成。在系统设计上要使气流混合更充分，选择适当的催化剂粒度，以使残留氨保持在最低水平即应低于 10ml/m^3。

用途　用于处理硝酸尾气及其他工业的氮氧化物。

生产厂家　四川化工集团有限公司催化剂厂。

中国生产硝酸尾气净化催化剂的单位虽然有中科院生态环境研究中心的无铬铜系催化剂，兰化公司化肥厂生产的 LFC 型铜系催化剂，中科院大连化学物理研究所开发的 8902 型铜锰催化剂和川化集团公司催化剂厂的 XW101($Cu_2Cr_2O_5$ 催化剂，但推向市场的仅有 8902 和 WX101 两种。

03302　**8209 型硝酸尾气净化催化剂**　8209 catalyst nitric acid exhaust purification

其他名称　硝酸尾气净化催化剂

基本配方和结构　以 CuO、MnO 等为主要活性组分布，以活性氧化铝为载体。

性状　外观：球形。外形尺寸：ϕ3～ϕ4mm、ϕ4～ϕ6mm。转化率：>95%。

制法　氧化铝球→浸渍沉淀→沥干→煅烧→过筛→包装

使用条件　温度：260℃；压力：约 1MPa；空速：约 3000h $^{-1}$。

用途　以氨为还原剂，催化还原 NO_X 转化为 N_X 和 H_2O。用于硝酸厂及使用硝酸盐工厂消除 NO_X 有害气体。

生产厂家 大连催化剂厂

03303 **国外硝酸尾气净化催化剂(Ⅰ)** overseas catalyst nitric acid exhaust purification (Ⅰ)

其他名称 硝酸尾气净化催化剂

化学组成

型号	C53-1	C53-3	G43	DS4	DS8
公司	美 UCI	美 UCI	美 UCI	美 Englhard	美 Englhard
Pt/%	0.1	0.4	0.1		
Ni/%	0.3		0.3		
Pd/%				0.5	0.5
Al_2O_3	载体	载体	载体	载体	载体

性状

型号	C53-1	C53-3	G43	DS4	DS8
公司	美 UCI	美 UCI	美 UCI	美 Englhard	美 Englhard
外观	球形	片	片	球	球
尺寸/mm	ϕ6.4×6.4	ϕ6.4×6.4	ϕ6.4×6.4	ϕ3.2	ϕ6.4
还原剂	天然气氨	天然气氨	天然气氨	天然气	天然气

使用条件

压力/MPa	0.1～0.8	0.1～0.8	0.35～0.7	0.8	0.8
温度/℃	345～870	345～870	540～820	500	500
气空速/10^4h^{-1}	2～4	2～4	2	2～6	2～6
出口 NO_X/(ml/Nm^3)	<100	<100	<100		

用途 硝酸尾气净化。

DS-8 用在硝酸尾气非选择性还原。

03304 **国外硝酸尾气净化催化剂(Ⅱ)** overseas catalyst nitric acid exhaust purification (Ⅱ)

其他名称 硝酸尾气净化催化剂

化学组成

型号	HCD	HCM-900	MPS 900	尾气处理
公司	美 Englhard	美 Englhard	美 Englhard	英 JMM
Pt%		0.5	0.5	0.5
Pd%	0.5			35% Rh
蜂窝陶瓷	载体	载体	Al_2O_3 载体	富铝红柱石

性状

型号	HCD	HCM 900	MPS-900	尾气处理
公司	美 Englhard	美 Englhard	美 Englhard	英 JMM
外观			片	球
还原剂	天然气	氨	氨	天然气

使用条件

型号	HCD	HCM-900	MPS-900	尾气处理
公司	美 Englhard	美 Englhard	美 Englhard	英 JMM
压力/MPa	0.8	0.8	0.8	0.5
温度/℃	675	260	260	420
气空速/10^4h^{-1}	14	2～15	2～6	
出口 NO_x/(ml/Nm^3)		<100	<200	80

用途 硝酸尾气净化 HCM-900 尾气含 NO_x 0.3%，O_2 3%。H_2O 0.9%，添 0.4% NH_3，空速 $<100000h^{-1}$，出口 NO_x，$<100\times10^{-6}$ 空速 $150000h^{-1}$，出口 NO_x，$<200\times10^{-6}$。它用在硝酸尾气氨选择性还原。HCD 用在硝酸尾气非选择性还原。

03305 国外硝酸尾气净化催化剂(Ⅲ) overseas catalyst nitric acid exhaust purification (Ⅲ)

其他名称 工厂尾气净化催化剂

化学组成

型号	ABK-10	DN	SARC
主要组成	V_2O_5	稀土氧化物	Fe_2O_3
	Al_2O_3	陶瓷载体	

性状

型号	ABK-10	DN	SARC
外观	球形		环形
尺寸	ϕ3.2		$\phi35/20\times15$

使用条件

型号	ABK-10	DN	SARC
压力/MPa		6～7	
温度/℃	200～300	480	300～320
气空速/h^{-1}	1500	4000	

用途 脱除硝酸尾气中的 NO_x，ABK-10 出口 NO_x $20\sim50\times10^{-6}$。脱除率（96～98）%。用于硝酸尾气 NO_x 选择性还原。

03306 氨分解催化剂 catalyst for ammonia decomposition

化学组成

型号	AD-946
碱性氧化物为载体，活性组分为 Ni 和其他助剂构成。主要为 MgO，NiO，Fe_2O_3，TiO_2	≥85% ≤10%

性状

外观	灰黑色椭球状颗粒
尺寸/mm	$\phi18\sim\phi20$
比表面/(m^2/g)	2.5～3.5
耐温/℃	常温～1150
孔隙率	≥20%
抗压强度/(kg/颗)	≥100

制法 同催化还原催化剂。

使用条件 温度：1000～1100℃ 避免低于正常温度下运行。

用途 用焦炉煤气净化和回收装置中的氨分解炉、克劳斯炉内，将焦炉煤气中的 NH_4、氰化氢等有毒气体全部分解 N，H，CO，保护设备和环境。

生产厂家 江西萍乡市化工填料有限公司。

03307 D101Q、D201Q 型氨燃烧制氮催化剂 ammonia combustion catalysts D101Q，D201Q

其他名称 制氮触媒

基本配方和结构　D101Q：以 Pt、Pb 为主要活性元素，以活性氧化铝球为载体。D201Q：以 Pd 为主要活性元素，以活性氧化铝球为载体。

性状　外观：灰色小球。外形尺寸：ϕ3～ϕ5mm。堆密度：0.8±0.1kg/L。比表面：10^2m/g。孔容：约 0.4ml/g。

制法　D101Q：　Pt → 化 Pt

Rh → 化 Rh　→ 混合配制 → 浸渍 → 干燥 → 煅烧 → 还原 → 成品

D201Q：Pd → 化 Pd → 溶液配制 → 浸渍 → 干燥 → 煅烧 → 还原 → 成品

使用条件

温度/℃	一段炉炉壁温度	600～700
	二段炉炉壁温度	400～700
	脱氧器炉壁温度	＜45

出口 N_2 组成：N_2≥99.5%，H_2≤0.5%，O_2≤0.011%。

用途　两种催化剂联合应用于氨在空气中燃烧以制取氮气，D101Q 为高效氨燃烧氨分解催化剂，D201Q 为高效氢燃烧脱氧催化剂。

贮存　通风干燥处贮存，防潮、防摔滚、防碰撞、防污染。

生产厂家　化工部西北化工研究院。

第四节　有机废气处理催化剂

大气中的挥发性有机物（VOC）主要来自化工和石油化工生产过程、废水处理设施、印罐、装饰、印刷、食品工业、机械行业表面处理、防腐及防锈处理等过程。

处理挥发性有机物和烃类最有效的方法就是催化燃烧法。主要是以贵金属为活性组分的燃烧催化剂。生产这类催化剂的主要公司是 Engelhard，Johnson Matthey 及 Allied Signal 三家。进入 90 年代以后，UOP 公司也打入这一领域，并和它的合资子公司日挥环球达成销售协议，而日挥环球控制了日本 60% 的 VOC 催化剂市场。另一家催化剂公司 UCI 从 Prototech 公司购得专利技术，也打算生产 VOC 催化剂。目前挥发性有机物催化燃烧催化剂已和 SCR 选择性还原催化剂共同成为工业环保催化剂的两根支柱。

一般认为 VOC 可包括下述五类有机化合物。

（1）烃类。包括链烃与芳烃，饱和烃与烯烃等，燃烧产物为 CO_2 和 H_2O。

（2）含氧有机化合物。包括醛类，醇类，酮类，酯类等，燃烧最终产物亦为 CO_2 和 H_2O。

（3）含氮有机化合物。包括胺类，腈类，酰胺等，燃烧最终产物为 CO_2，H_2O，N_2 或 NO_X。

（4）卤族有机化合物。包括能破坏臭氧层的卤代烃，酰氯等，燃烧最终产物为 CO_2，H_2O 和卤化氢。

（5）有机硫化物。包括硫醇，硫醚，硫脲，噻吩，二硫化碳等，燃烧最终产物为 CO_2，H_2O 和 SO_X。

用催化燃烧法处理工业废气，可将少量低浓度挥发性有机物燃烧成无害的 CO_2 和 H_2O，其设备简单，效率高，无二次污染。

03401　苯系列有机废气净化催化剂　benzene series organic effluent gas purifying catalyst

其他名称　苯系列 VOC 废气燃烧催化剂

化学组成

型号	Q101	RS-1
主要组成	$CuOZnO/Al_2O_3$	PtV_2O_5MoO/分子筛

此为国内针对含苯类 VOC 废气的燃烧催化剂的代表型号。

一般常用的燃烧催化剂有贵金属、金属氧化物、金属氧化物中添加少量贵金属及活性蜂窝体状四类。

贵金属催化剂：实际使用的只有 Pd 和 Pt。Pd 与 Pt 对不同反应物所呈现的活性还有差异。对 CO，CH_4 及烯烃的氧化，Pd 优于 Pt；对芳烃氧化，两者相当；对 C_3 以上直链烷烃氧化则 Pt 优于 Pd。贵金属催化剂具低温高活性和起燃温度低的特点，一旦超过某一温度会使转化率直线上升，只生成 CO_2 与 H_2O，不存在中间产物。

金属氧化物催化剂：常用作完全氧化催化剂的是呈钙钛矿 ABO_3 型结构和尖晶石 AB_2O_4 型结构的复合氧化物。主要体系是：Cu-Cr-O，Cu-Mn-O，Mn-Co-O 及 Cr-Co-O，即以 Cu，Cr，Co，Mn 为主要活性组分。复合氧化物催化剂对烃类完全氧化活性不及贵金属，但对

铜，醛，醇，酯等含氧有机物，对胺或酰胺等含氮有机物则活性相近，甚至超过贵金属催化剂。

金属氧化物与贵金属复合催化剂。贵金属与过渡金属或稀土氧化物配合使用是一个新动向。

活性蜂窝体。这是一种将活性组分（金属氧化物或贵金属）与载体基质材料掺混后成型，使活性组分进入蜂窝体的结构，这样可大幅度提高其结构稳定性。

催化剂载体可分为活性载体与惰性载体两类。活性载体是 γ-Al_2O_3，分子筛、硅胶等，活性组分一般用浸渍法负载到载体上。惰性载体一般以堇青石 $2MgO_2 \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ 为基质材料，制成蜂窝状，然后加 Al_2O_3 涂层。当使用活性载体时多为 $\phi5 \sim \phi6$mm 球形，亦可使用圆柱体，条形，不规则颗粒，环形等，在燃烧催化剂中使用陶瓷蜂窝载体也十分普遍。

性状

型号	Q101	RS-1
外观		无定形颗粒
尺寸/mm	$\phi5 \times 5$ 片状 $\phi5 \times (5 \cdot 10)$条状	$\phi3 \sim \phi5$
堆密度/(kg/L)	0.9～1.4	0.85
比表面/(m^2/g)	40～120	100
孔容/(ml/g)	0.2～0.45	

制法 一般制备流程为：

过渡金属氧化物→化金属→共沉淀→水洗→压滤→干燥→碾压→混合→压片→成品

Q101 的制法：$Cu + Zn + HNO_3$ 混合后再加碳酸钠共沉淀、洗涤、过滤、干燥、碾压加石墨混合压片成型。

RS-1 制法：丝光沸石酸煮、水洗、干燥、焙烧加钒及金属盐溶液浸渍、干燥、焙烧再加$Pt(NH_3)_4Cl$ 溶液浸渍、干燥、焙烧即可。

使用条件

型号	Q101	RS-1
温度/℃	240～600	240～280
气空速/h^{-1}	3000～6000	1000

型号	Q101	RS-1
破碎强度/(N/cm 粒)	>100	85
VOC 浓度/[g/(Nm³)]	0.1~5	4~8
处理气中氧含量：	>12.0(%)	
反应压力(MPa)：	常压	

有机废气含量：0.1~5.0 (g/m³)。废气 1×10^{-6}：P<0.5、重金属<0.1、S<3、卤素<0.5。

一般来说，影响 VOC 脱出率的主要因素是操作温度、空速、污染物浓度及组成、催化剂活性组分、含 VOC 废气中影响催化剂活性的催化毒物浓度。

对 VOC 燃烧用催化剂的一般要求是：在一定的燃料/空气比下应具尽可能低的起燃温度；在最低预热温度与最大传质条件下仍能保持完全燃烧；催化剂载体具较大比表面、低阻力和耐热性能；具有优良的活性热稳定性。

用途 广泛用于印铁制缸、印刷涂料、漆包线、自行车、缝纫机、家用电器等行业的烘箱、烘房所排放的有机废气的焚烧净化。处理的有机废气有苯、甲苯、二甲苯、丙酮、环己酮、环己醇、乙醛、丁醇、顺酐等。RS-1 针对含硫 VOC 废气。

生产厂家 兰州化学工业公司研究院、杭州大学、南京化学工业公司催化剂厂等。

除此面外，国内研制的 VOC 燃烧催化剂中使用贵金属作活性组分的有兰化研究院的 LY-C、杭州大学的 NZP-1 及 NZP-4，JFJF 型则为载于蜂窝载体上的贵金属催化剂。使用蜂窝载体的还有北京鸠峰催化剂厂、北京绿星催化剂厂和中科院生态环境研究中心的产品。绿星的催化剂用于 250%，HC 脱除率>98%；生态环境中心的催化剂以 $CuO\cdot MnO_2\cdot Fe_2O_3$ 复合金属氧化物为活性组分。此外用复合金属氧化物为 VOC 燃烧催化剂活性组分的还有杭州大学的 BMZ-1、BMZ-4 和 PCN-1 等型号。华东理工大学的 CM 型则以稀土金属氧化物为活性组分。

03402 烃类有机废气处理催化剂(Ⅰ) effluent hydrocarbon gas treatment catalyst (Ⅰ)

其他名称 烃类净化催化剂

型号	KCO 系列	PC193	PC247
外观	环形或蜂窝状	环形	环形
尺寸/mm		$\phi4\sim\phi6$、$\phi2\sim\phi4$	$\phi6\sim\phi10$
堆密度/(kg/L)		0.7	0.75
比表面/(m^2/g)		130	30
孔容/(ml/g)		0.6	0.5
破碎强度/(kg/颗)		>5	>5

型号	DASH-20M	PAS-4
外观	蜂窝块状	蜂窝状
尺寸/mm	150×150×150 孔径 1.9 壁厚 0.4	$\phi5\times(4.5\sim5.5)$ $\phi5\times(4.5\sim5.5)$
堆密度/(kg/L)	0.72	
比表面/(m^2/g)	0.208	
孔容/(ml/g)	自由截面 64% 几何表面 1.82m^2/L	

型号	PC173	PC183	PC413	PC416	ST-500
外观	球形	球形	球形	球形	片状
尺寸/mm	$\phi4\sim\phi6$ $\phi2\sim\phi4$	$\phi4\sim\phi6$ $\phi2\sim\phi4$	$\phi2.4\sim\phi4$	$\phi2.4\sim\phi4$	
堆密度/(kg/L)	0.7	0.7			
比表面/(m^2/g)	260	130			

使用条件

压力 MPa,	正压:18　侧压:5
温度/℃	起燃 180～300,最高 750
气空速/h^{-1}	$1\sim1\times10^5$

用途　LY-C 用于工厂尾气中 CO、烃类、含氧化合物的净化。PAC-1 控制烃类及 CO 的污染，对轻质烃有高活性。PAC-702 对一氧化碳及烃类催化氧化。

A38MK 用于气体燃烧及空气催化净化。E239P 净化低温有机物燃烧气体。KCE 对工业排放气中有机物、一氧化碳及氮的氧化物、电烤箱、马弗炉的消臭以及汽车和柴油机排放气处理。可用于石油化工、化工涂料、食品、塑料、造纸、纺织工业排放气处理。

KCO 系列用于一氧化碳及烃类完全燃烧。PC193 脱除烃类具有高稳定性。PC247 用于铝厂废气处理。

DASH-20M 用于消除烘漆烘道排气的污染。PAS-4 用于工业废气中乙醇、一氧化碳、甲烷、甲醇、甲醛的催化净化。

生产厂家　RAC-1、PAC 702、DASH-20M、PAS-4 为美国 Air products and chemicals, Engelhard mineralsang chemicals 生产；A38MK, E293P 为 Degussa 生产；KCE, KCO 系列为 Kalichemie Englhard 生产；PC 系列为法国 Pro-catalyst 生产；ST-500 为日本界化学生产。

另外，Engelhard, Johnson Matthey 及 Allied Signal 三家，UOP 公司，日挥环球，Prototech 公司等也生产 VOC 催化剂。

03403　烃类有机废气处理催化剂（Ⅱ）　effluent hydrocarbon gas treatment catalyst（Ⅱ）

其他名称　蜂窝型陶瓷催化剂

化学组成

型号	3188	2314	FCC-1
			75% Al_2O_3
			25% SiO_2 和
			Ca, Ba, Fe, Mg

性状

型号	3188	2314	FCC-1
外观	蜂窝型	蜂窝型	蜂窝型
尺寸/mm	有 188 个 ϕ3 孔	有 188 个 ϕ3 孔	有 188 个 ϕ2.7 孔
	47×47×50	42×43×43	47×47×46
堆密度/(kg/L)	0.83	1.16	0.92
比表面/(m^2/g)	1.04	2.50	6
孔隙率	0.4	0.408	0.308

使用条件

型号	3188	2314	FCC-1
起燃温度/℃	210	200～250	
气空速/$\times 10^4 h^{-1}$	1～2	1～3	1～2

型号	T-503	(852)	(EH-1)	(γEAC)	(T909)
外观	白色球或块	白色球	白色球	白色球	白色条
规格/mm	$\phi3$ - $\phi6$	$\phi3$ - $\phi4$	$\phi3$～$\phi5$	$\phi4$～$\phi5$	$\phi3\times(5\sim10)$
堆密度/(kg/L)	约 0.8	约 0.85	0.75～0.95	0.9～1.1	0.8～1.0
比表面/(m^2/g)	>200	200		100～150	100～150
破碎强度/(N/粒)		>50	>40	>50	>150N/cm
磨耗率/%	<5				
型号	SN-4	A919	TGH-2	TGH-3	γ-2-4
类	转化吸收	转化吸收	转化	转化	转化
外观	白色球	白色条	白色条	白色条	白色条
规格/mm	$\phi4$- $\phi5$	$\phi4\times(5-15)$	$\phi3\times(5\sim10)$	$\phi3\times(3\sim5)$	$\phi3$～$\phi5$
堆密度/(kg/L)	0.7	0.7	0.5～0.6	0.5～0.6	0.65
比表面/(m^2/g)	>200	>210	约 200		100
破碎强度/(N/粒)	>80	>50	>198N/cm	>50N/cm	>150N/cm
磨耗率/%		<3			

制法 活性氧化铝碳→成型→浸渍→干燥→煅烧→过筛→成品

使用条件

型号	T-503	(852)	(EH-1)	(γEAC)	(T909)
(原始型号)	(851)				
压力/MPa	>10	不限	常压	常压/加压	常压/加压
温度/℃	10～30	10～40	≥60	70～130	40～50
气空速/h^{-1}		1000	3000	1000～2000	1000～1500
液空速度/h^{-1}	2～5	1～3			
入口氧/%				<0.3	<0.3
入口水分/$\times10^{-6}$	约 100	100- 1000			
汽/气			0.01	<0.1	<0.05
入口 COS/$\times10^{-6}$	1～10	1～4	<75	7.5	1～2
出口 COS/$\times10^{-6}$	<0.1	<0.05		<1	<0.2
转化率/%			>90	>95	70～95

型号	SN-4	A919	TGH-2	TGH-3	γ 2 4
压力/MPa	0.1～4.0		1.5～2.5	0.1～3.0	常压/加压
温度/℃	35～100		100～140	30～50	200～250
气空速/h^{-1}	800～1500		300～1000	1000～3000	
液空速度/h^{-1}					
入口氧/%			<0.2		
入口水分/$\times10^{-6}$			饱和		
汽/气	8		0.05～0.5	0.05～0.5	
入口 COS/$\times10^{-6}$	<0.1		6～40		
出口 COS/$\times10^{-6}$	>90		>0.12		
	（高/径>4）				
转化率/%	2（硫容%）		>95		

用途　用于原油、原料气中硫氧碳的水解。用于氨合成、甲醇合成中原料气的净化以及乙烯、丙烯等净化。

防潮、防油污、防摔滚撞击。贮放于通风干燥处。用内衬塑料袋的铁桶包装。

生产厂家　西北化工研究院昆山联营厂、太原工业大学、湖北化学研究所、南京化学工业集团有限公司催化剂厂等。

第五节　其他环保用催化剂

除了上述几大类环保催化剂外，还有一些其他类型的环保用催化剂，不过其应用规模相对较小，这类催化剂主要有脱 CO、脱氧等脱气催化剂，废水处理用催化剂，以及环保用吸附剂等。

03501　脱 CO 类催化剂（I）　catalyst for removing carbon monoxide（I）

其他名称　NCY-107 型乙烯脱一氧化碳催化剂

基本配方和结构　以 CuO 为主要活性组分，以 ZnO 为载体。

性状　外观：黑色或灰黑色圆柱体。外形尺寸：$\phi(4.8\sim5.2)\times(3.8\sim5.5)$mm。堆密度：1.3～1.7kg/L。比表面：20～35m^2/g。

制法　化金属→配制溶液→沉淀→水洗→压滤→干燥→碾压→煅烧→混合→压片→成品

使用条件　温度：110～140℃。压力：常压～3MPa。空速（h^{-1}）：1000～3000。

出口 N_2 组成：$N_2 \geqslant 99.5\%$，$H_2 \leqslant 0.5\%$，$O_2 \leqslant 0.011\%$。

用内衬塑料袋的铁桶包装。防潮、防摔滚撞击、防污染。

用途 用于聚乙烯装置中脱除乙烯中微量一氧化碳，以确保高效聚合催化剂的活性。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂。

03502 **脱 CO 类催化剂（Ⅱ）** catalyst for removing carbon monoxide (Ⅱ)

其他名称 NCT-108 型、C18 型丙烯脱-氧化碳催化剂

基本配方和结构 以 CuO 为主要活性组分，以 ZnO 等为载体。

性状 外观：黑色圆柱体。外形尺寸：$\phi(4.8 \sim 5.2) \times (3.8 \sim 5.5)$ mm。堆密度：1.2～1.7kg/L。

制法 化金属→配制溶液→沉淀→水洗→压滤→干燥→碾压→煅烧→混合→压片→成品

使用条件 温度：100～200℃。压力：常压～10MPa。空速（h^{-1}）：500～4000。

用途 用于脱除石油气（乙烯、丙烯）、惰性气体和氢气等气体中残存的微量一氧化碳，制备超纯度气体，在聚乙烯、聚丙烯生产中用来净化单体烯烃和 H_2、N_2 等生产辅助气体。也可在冶金、电子等工业部门中用来生产超纯气体。

贮存 用内衬塑料袋的铁桶包装。防潮、防摔滚撞击、防污染。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂，上海化工研究院。

03503 **脱氧类催化剂（Ⅰ）** deoxidizing catalyst (Ⅰ)

其他名称 401 型高效脱氧剂

基本配方和结构 主要活性组分为二氧化锰。

性状 外观：球形。外形尺寸：ϕ1.7～ϕ0.85mm。堆密度：1kg/L。孔容：约 0.3ml/g。

制法 Mn 盐→沉淀→水洗→过滤→干燥→煅烧→成型→过筛→成品。

使用条件

压力/MPa	0.1～3.0	0.1～3.0		0.1
温度/℃	180～240	180～240	200～350	80～150

压力/MPa	0.1～3.0	0.1～3.0		0.1
气空速/h^{-1}	1000～3000	1000～3000	2000～5000	1000～5000
加氢量/倍	7～16	7～16		
入口氧/$\times10^{-6}$	1000	1000	100～1000	＜60
出口氧/$\times10^{-6}$	＜10	＜5	＜10	＜0.5

用途 用于半导体及大规模集成电路工艺中高纯气体净化，超纯气体净化、超纯分析、气相色谱分析、真空材料加工、冶金工业等。脱氧深度达10×10^{-6}以下，吸氧后变色，可直观显示。

注：与之配套的还有QJG-1高效气体脱氧管，该管的性状、用途如下。

性状：ϕ40mm×410mm管，常温下即可高效除去氮、氢、氩等气体中的氧，脱氧深度10×10^{-6}以下，吸氧后变色，可直观显示。吸氧容量1000～2000ml/g。

用途：色谱载气无氧操作设备，还用于还原炉氧气、各种保护气、半导体及大规模集成电路工艺中的超纯气体净化，有机合成等过程的气体脱氧。

包装贮运：纸筒装，每筒1支，装入木箱。防潮、防碰撞，通风干燥处贮存。

生产厂家 大连催化剂厂。

03504 脱氧类催化剂（Ⅱ） deoxidizing catalyst（Ⅱ）

其他名称 铜系脱氧催化剂

基本配方和结构 以金属铜为主要活性元素，以氧化铝、氧化硅等为载体，还辅以少量助催化剂组分。

性状

型号	0603	0605	T601	C15
外观	黑褐色片	黑色片	蓝绿色球	球
外形尺寸/mm	$\phi5\times(4\sim6)$	$\phi5\times(4\sim6)$	$\phi3\sim\phi5$	$\phi3\sim\phi5$
堆密度/(kg/L)	0.9～1.2	0.9～1.3	0.8～1.0	1.03
比表面/(m^2/g)	40～60	50～90		
孔容/(ml/g)	0.3～0.4	0.3～0.4		
破碎强度/(N/cm)	≥40	≥120		

制法

混合金属碱度 碱

沉淀→水洗→压滤→干燥→碾压→煅烧→混合→成型→过筛→成品

压力/MPa	0.1～5.0	0.1～5.0	常压～20
液空速/h^{-1}	1～5		3～30
高/径	>4		
入口 HCL/$\times 10^{-6}$	10～200	20	
出口 HCL/$\times 10^{-6}$	<0.1	<0.5	<0.2

用途　主要用于脱除原料油、原料气中的氯化物，以保护下游催化剂及设备管线等。装于内衬塑料袋的铁桶内。运输中禁止摔滚、冲撞。贮存于干燥库房内，防止受潮。

生产厂家　南京化学工业集团有限公司催化剂厂、西北化工研究院昆山联营厂、南京化工大学等。

03508　**除氢催化剂**　dehydrogen catalyst

其他名称　DH-2 型除氢催化剂

基本配方和结构　主要活性元素：钯

性状　外观：深褐色圆球。外形尺寸：ϕ2.5～ϕ3.2mm。堆密度：约 0.7kg/L。比表面：约 170m^2/g。孔容：约 0.3ml/g。

制法　球形氧化铝→浸渍→干燥→煅烧→活化→过筛→成品

使用条件　原料气相组成为：$CO_2 \geqslant 98\%$，$H_2$0.9%～1.0%，$O_2$1.0%～1.4%，CO≤0.2%，总硫≤2mg/m^3，CH_3OH≤3mg/kg。温度：170～220℃。压力：常压～14.7MPa。空速（h^{-1}）：约 3000h^{-1}。催化剂失活后，可进行再生处理，并基本上恢复到原活性水平。

用途　用于尿素生产时，其二氧化碳原料气中氢的脱除，以确保安全生产。

用内衬塑料袋的铁桶包装。防潮、防摔滚撞击、防止同油污或化学物品接触。

生产厂家　甘肃省刘家峡化工总厂催化剂厂。

03509　**BH 型多功能净化催化剂**　multifunctional purification catalyst BH-5

基本配方和结构　以 Ni 为主要活性组分，以 Al_2O_3、SiO_2 为主要载

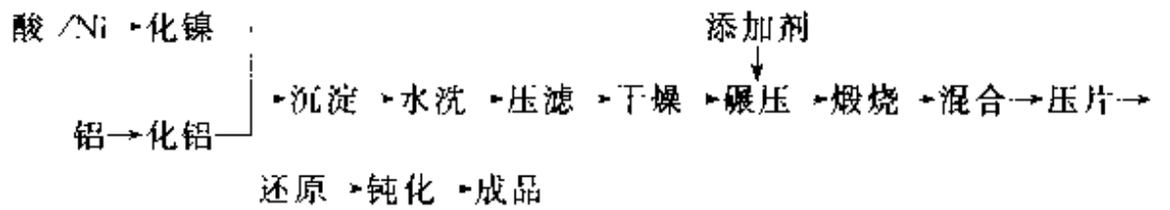
体。本催化剂已经预先还原。

性状　外观为黑色或灰黑色圆柱体。外形尺寸：$\phi(4.5\sim5.0)\times(3.0\sim5.0)$mm。

堆密度：1.00～1.35kg/L。比表面：50～100m^2/g。

孔容：0.2～0.3ml/g。

制法



使用条件　温度：室内～200℃。压力：常压～10MPa。

空速（h^{-1}）：100～1000（气态）、1～10（液态）。

用途　主要应用于脱除原料油、原料气中的微量氧，例如，脱除乙烯、丙烯中的微量氧。防潮、防晒，防污染、防摔滚、撞击。用内衬塑料袋的铁桶包装。

生产厂家　南京化学工业集团有限公司催化剂厂。

03510　**MC-15型、DB-75型、DB-83型霍加立特催化剂**　catalyst of Hopcalite MC-15，DB-75 and DB-83

其他名称　防毒面具用催化剂

基本配方　MnO60%，CuO40%，少量钴，氧化银。

制法　锰盐→沉淀→干燥→打浆→配液→沉淀→水洗→压滤→干燥→成品

（130℃，氧气）

使用条件　温度：室温。压力：常压。贮存于阴凉、干燥、通风处。

用途　装填防CO消毒器。

生产厂家　抚顺市化工一厂。

03511　**水处理用催化剂**　water treatment catalyst

其他名称　废水湿式氧化处理催化剂

基本配方和结构　在湿式氧化法处理废水中，铜系催化剂用的最多，以前多采用$Cu(NO_3)_2$、$CuSO_4$或$CuCl_2$，用以处理含酚废水、造纸

废水、含氰或表面活性剂工业废水。现在除此外又开发出铁系催化剂和贵金属催化剂以及利用培养出生物酶来处理特种情况污水。如高温、低温、高盐、高压或低 pH、含抗代谢物、有机溶剂、重金属、有毒有害环境中的污水。

臭氧做氧化剂时，可用铜、锰、镍作催化剂。用双氧水时可用铁催化剂，在 TiO_2、ZnO、CuO、V_2O_5、Fe_2O_3、MnO_2 等金属氧化物，作为处理废水氧化催化剂时 ZnO 最好。V_2O_5 脱色明显，V_2O_5 和 MnO_2 在酸性环境中其氧化能力优于碱性条件中。

在非均相催化氧化处理废水方面，如以半导体氧化物负载贵金属时 Ru/CeO_2 活性最好，能很好地脱除废水中的醇类、酰胺、醛和酸等。用硅胶负载 Ni_2O_3、CuO、Co_2O_3 可脱除废水中的表面活性剂或染料。用 V_2O_5 作催化剂处理含耐晒黑 G 染料废水时脱色率达 98.7%，脱除 COD 亦在 86.3%。

代表型号：

ST-B01　陶瓷球载体　（固定床）

ST-B11　陶瓷颗粒载体　（流动床）

ST-A31　TiO_2 粒子（吸附剂）

使用条件　废水中耗氧物质 COD（化学需氧量）是由无机与有机两大物质组成。在无机中一般以亚硝酸盐、亚铁盐和硫化物构成。

通常处理废水多采用生物爆气法，但这种方法对某些物质往往达不到预期效果。比如 NO_2^- 要在 pH＜3 的酸溶液中，才被氧化，而 CN^- 要在 pH＞10 的碱性溶液中才能被氧化。在同一溶液中要氧化这两种物质是不可能的。若在活性炭催化剂存在下时，在 pH≈7 加化学药品并进行爆气处理则可除去废水中有害物质的 90% 以上，若活性炭载铜离子则可氧化含氰的物质。

废水中有机物构成的耗氧物质 COD，采用催化剂氧化锰进行处理。这种催化剂可使含醋酸、苯酚、丙二醇、丙三醇、单宁酸、烷基苯磺酸盐、造纸浆等废液中的 COD 下降，经过过滤可除去（40－80）% 的 COD。若需进一步提高处理效果，则需提高废液的温度，如使废水温度 100℃ 时，有机物构成 COD 才能除去 80% 以上。对大量的生活污水或工业废水的处理采用这种方法是不合理也不经济，需另

辟途径。

在常温、常压下拥曝气法处理有机 COD 时，氧化锰是一种很好的催化剂，可使含醋酸、苯酚、丙二醇、丙三醇、丹宁酸、烷基苯磺酸盐、牛皮纸浆废液、铵碱纸浆废液、过滤后的污水等 COD 值下降(40～80)%，在 100℃时有机物 COD 脱除率在 80%以上，但因温度太高，不适用于生活污水的处理。

γ-MnO_2 可氧化而破坏染料发色基团和母体结构。对于处理含酚废水时 MnO_2 的活性也比 CuO、Ni_2O_3、Co_2O_3 或锰粉高。

用途　主要用于工业生产与生活中排入水中的污染物的处理。

03512　其他吸附剂类（Ⅰ）　adsorbents（Ⅰ）

基本配方和结构　化学组分：$H_2Al_2(SiO_3)_4 \cdot nH_2O$

性状

产品型号	Px-392A	Px-392B	Px-392C
比表面积/(m^2/g)	>150	≥150	≥180
颗粒平均抗压强度/N	≥0.50	≥5.0	≥0.60
颗粒度 630～250μm/%	≥85.0		(850～250μm)≥85
<250μm/%	≤7.0		≥150
D1.4mm/%		≥85.0	
L2～8mm/%			
游离酸(以 H_2SO_4 计)/%	≤0.2	≤0.2	≤0.2
堆积密度/(g/L)	780～900	780～900	780～960
水分/%	≤7.0	≤7.0	≤7

制法　原土→除杂→水洗→酸煮→压滤→烘干→粉碎→筛分→成品

使用条件　温度：50℃。压力：常压～1MPa。空速（液）：1～6h^{-1}。

用途　具有良好的酸性催化性能，混合芳烃经精制后，烯烃脱除率高，芳烃精制过滤比大，成本低，使用寿命超过国外同类产品。其中 Px-392A 型适用于石油化工装置中脱除微量烯烃和羰基化合物。Px-392B 型主要适用于纯苯精制。Px-392C 型适用于航空煤油精制脱色，也适用于 120#溶剂油精制。

内衬塑料袋，布袋加编织袋 3 层包装，再放于硬塑料桶中。在运输过程中，应避免摔滚、撞击和受潮。贮存在干燥的仓库中，防止受潮。

生产厂家 国有杭州临安催化剂厂等。

03513 其他吸附剂类（Ⅱ） Adsorbents（Ⅱ）

其他名称 活性氧化铝干燥剂

化学组成

型号	WHA-101	WHA-101	WHA-101	WHA-101

性状

外观	白色球	白色球	白色球	白色球
尺寸/mm	$\phi3\sim\phi5$、$\phi4\sim\phi6$、$\phi5\sim\phi7$	$\phi2\sim\phi5$、$\phi2\sim\phi3$、$\phi4\sim\phi8$	$\phi1\sim\phi1.5$、$\phi1.5\sim\phi2$	$\phi2\sim\phi5$
堆密度/(kg/L)	0.68～0.7	0.68～0.7	≥0.7	≥0.68
比表面/(m^2/g)	≥300	≥300	≥300～320	≥320
孔容/(ml/g)	≥0.38	≥0.4	≥0.38	≥0.4

使用条件

静态吸附容量/%	≥150～170		≥170
抗压强度（N/球）	≥80～130	≥10.35	
初期磨损率/%	≤0.4～0.6		

用途 用于石化厂的气、液相干燥，还用于纺织、制氧、空分干燥。WHA-104 用于饮用水除氟和工业除氟。WHA-9101 是蒽醌生产双氧水专用吸附剂，此吸附剂可再生。

生产厂家 温州氧化铝厂。

03514 其他吸附剂类（Ⅲ） adsorbents（Ⅲ）

其他名称 活性炭吸附剂

化学组成

型号	CH-71	ZX15	18#	1#	MPY-1

性状

外观	粒状	暗黑色柱			
尺寸/mm	3	1.5	$\phi3\sim4$	8～20 目	6～18 目
堆密度/(kg/L)	0.35～0.45	0.8		0.35	
比表面/(m^2/g)	900	850～950			
孔容/(ml/g)	0.7	0.75～0.85			

使用条件	耐磨强度	≥80	>75	>95	>50
	着火点/℃	<400			
	苯吸附量/(mg/g)	≥300	碘≥30	≥35	碘≥30

用途 用于橡胶、喷漆，回收苯、二甲苯、汽油溶剂等，也可用于化肥、合成氨、天然气等脱硫。ZX15 用于脱除有机蒸气、气体、臭味，广泛用于防毒面具、防毒口罩等。

生产厂家 北京光华木材厂。

03515 脱水干燥剂 dewatering desiccants

其他名称 NC-1303 型、TSB-01 型、WHA 型氧化铝脱水干燥剂

基本配方和结构 Al_2O_3（主要晶相 χ-ρ 型）。

性状 外观：白色、白色带微黄球状或条状。外形尺寸：条形 $\phi(3.0\sim4.0)\times(4.0\sim7.0)$ mm、$\phi(4.0\sim5.0)\times(4.0\sim8.0)$ mm、$\phi(5.0\sim6.0)\times(4.0\sim8.0)$ mm；球形 $\phi3.0\sim\phi4.0$mm、$\phi4.0\sim\phi5.0$mm、$\phi5.0\sim\phi6.0$mm、$\phi6.0\sim\phi7.0$mm。堆密度：0.60～0.85 kg/L。比表面：$(300\pm30)m^2/g$。孔容：0.30～0.48ml/g。

制法 氢氧化铝→高温快脱→成型→水热处理→干燥→成品

使用条件 温度：室温。压力：≥0.5MPa。空速（h^{-1}）：500～10000（气相介质），50～2000（液相介质）。

用途 广泛用于石油化学工业、电子工业、机车制造工业、电力工业等部门中所使用的气体、液体原料或工作介质的脱水干燥。

贮存 用内衬塑料袋的铁桶包装。防潮、防污染、防摔滚撞击。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂、江苏省泰县化工助剂厂、温州化工总厂设计研究所等。

03516 干燥用分子筛 molecular sieve desiccants

基本配方和结构 Si-Al

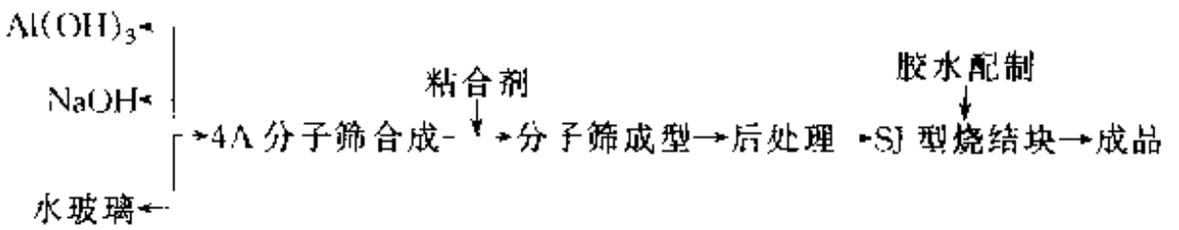
性状

型号	DU-3A	DU-3A	3A	TAMA02	DU-4A
规格/mm	$\phi1.6$ 条	$\phi1.6$ 条	$\phi4\sim\phi6$ 球	—	$\phi4\sim\phi6$ 球

型号	DU-3A	DU-3A	3A	TAMA02	DU-4A
堆密度/(kg/L)	0.64 0.68	>0.64	0.7~0.8	—	0.7 0.8
吸水率/%	21	>20	>18	19.3	>21
强度/(N/粒)	35	>30	—	—	—
磨耗率/%	—	<0.5	<5	2~3	<5

型号	DB-4A	5A	KSN-3X	13X	SJNC 30-A
规格/mm	ϕ1.8~ϕ2.5 球	ϕ4~ϕ6 球	ϕ1.6 条	ϕ4~ϕ6 球	ϕ3~ϕ5 球
堆密度/(kg/L)	>0.75	0.7~0.8	>0.64	0.7~0.8	0.6~0.8
吸水率/%	>19	>21	>25	>24	>24
强度/(N/粒)	>70	>30	>30	>30	>40
磨耗率/%	<0.15	—	<0.5	—	—

制法



SJ 型烧结块生产工业流程图

用途 用于合成氨装置中，脱除合成气中最后一些杂质（主要是一氧化碳、水和微量有机硫化物）。同时也可应用于其他物质的深度干燥、净化与物质分离。

由于分子筛晶穴内部有强大的库仑场和极性作用，所以脱水沸石分子筛中，使气体分子液化的趋势更为增强。对于烃类和小的极性吸附物质，在低温时有迫使其强烈吸附和成为准液态的倾向。因此，分子筛与其他类型吸附剂相比，即使在较高温度下和较低吸附质分压下，仍有较高的吸附容量。

其中，SJ 型干燥剂形状大小可根据用户需要而定，因而，除能应用于桑塔纳轿车空调干燥器中以外，也能适用于其他类型制冷系统。如冷藏车、机车，其他型号汽车上的空调以及家用和工业用、冰柜等中氟里昂，R-134A 和其他特种制冷剂的脱水干燥。

装于内衬塑料袋的铁桶中。防潮、防油污、防撞击。

生产厂家 上海分子筛厂、湘潭化工二厂、大连催化剂厂、上海化工

研究院、天津化工研究院、南京无机化工厂、南京炼油厂、南京化学工业集团有限公司催化剂厂等

参　考　文　献

1　钱旭红，奚述诚．现代精细化学化工产品技术大全　北京：科学出版社，2001

2　新领域精细化学品（化工产品手册，第一版）　北京：化学工业出版，1999

3　赵骧　催化剂（精细化学品系列丛书）．中国物资出版社，2001

4　中国化工产品大全　北京：化学工业出版社，1992、1994，1996，1998，2000

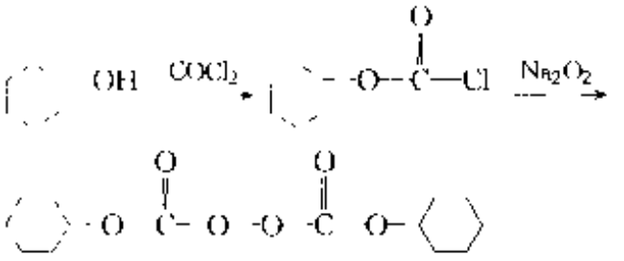
5　最新工业助剂大全　北京：化学工业出版社，1997，61-106

6　李勤　现代内燃机排气污染物的测量与控制　北京：机械工业出版社，1998

7　中国汽车技术研究中心　催化转化评价试验及匹配应用．全国汽车尾气催化净化研讨会　天津：1998

能加速其分解，对摩擦和撞击不敏感。

制法　由环己醇与光气生成氯甲酸环己酯，再与过氧化钠反应而得：



将环己醇加入反应锅，在 8～10℃通入光气。光气化结束后搅拌 1～2h，然后，自然升温至 20℃后，通入压缩空气赶除溶解在产物中的氯化氢和过量的光气，直至用光气试纸检验尾气无光气，并用 pH 试纸测定其接近中性时为止。

在装有氢氧化钠水溶液的反应锅中，滴加 30% 过氧化氢，反应温度不得超过 5℃。此时，过氧化氢反应成过氧化钠，将上述光气化产物（氯甲酸环己酯）滴入过氧化钠溶液中，滴加速度以控制反应温度在（20±1）℃为限。滴加完毕，立即补加少量过氧化氢，在（20±1）℃下继续反应 1h。然后过滤，滤饼用冰水洗至中性。最后在 37℃左右的红外灯下烘 2h 至干，即得成品。

原料消耗

原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
97%的环己醇	1417	双氧水(过氧化氢 25%)	1372
光气	1911		

用途　本品是一种高效引发剂，可用于氯乙烯、乙烯以及丙烯酸酯类的聚合，也可用于氯乙烯-乙酸乙烯酯的共聚合。

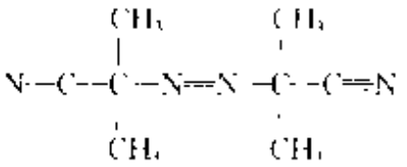
本品在室温下自动分解，放出腐蚀性可燃物质，加热时引起爆炸，对眼睛和黏膜有强烈的刺激性。

生产厂家　天津市有机化工二厂、江苏江阴农药厂。

04102　偶氮二异丁腈　2,2′-azo-bis-*iso*-butyronitrile

其他名称　发乳剂 N；2,2′-azobis(2-methylpropionitrile)；2,2-dicyano-2,2′azopropane；AIBN；porofor-57。

结构

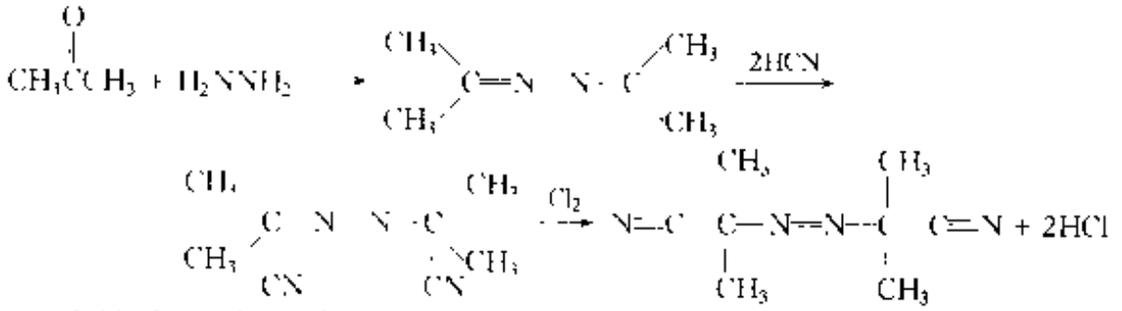


分子式　$C_8H_{12}N_4$

相对分子质量　164.21

性状　白色针状晶体或粉末，熔点 102℃，不溶于水，溶于醇、乙醚、甲苯和苯胺。加热至 100℃时便熔融并急剧分解，放出氮气及氰化物。分解过程中放出大量热量，会引起着火爆炸。

制法　（1）以丙酮、水合肼和氰化钠为原料：



上述缩合反应温度为 55～60℃，反应时间为 5h，然后冷却降温至 25～30℃时间为 2h。待降温至 10℃以下时，开始通氯，反应在 20℃以下进行。

物料配比为：HCN∶丙酮∶肼＝1L∶1.5036kg∶0.415kg。

（2）采用丙酮氰醇和水合肼反应，再用液氯氧化或采用氨基丁腈用次氯酸钠氧化。

原料消耗

原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
丙酮(>95%)	720	硫酸(>98%)	880
氰化钠(>90%)	710	液氯(>99%)	500
水合肼(折 100%纯肼)	200		

用途　作为氯乙烯、乙酸乙烯酯、丙烯腈等单体聚合时的引发剂，也作为橡胶、塑料的发泡剂，用量为 10%～20%。

本品也可用作硫化剂、农药和有机合成的中间体。

本品属高毒类物质，小鼠口服 LD_{50}17.2～25mg/kg，受热分解放出的有机氰化物对人体有较大毒害。

生产厂家　北京化工厂、上海试剂四厂。

04103　偶氮二异庚腈　azo-bis-*iso*-heptonitrile

其他名称　偶氮二甲基戊腈；2,2′-偶氮双(2,4-二甲基戊腈)；2,2′-

原料消耗

原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
甲基异丁基酮	1160	硫酸	980
水合肼	190	乙醇(95%)	820
氯化钠	750		

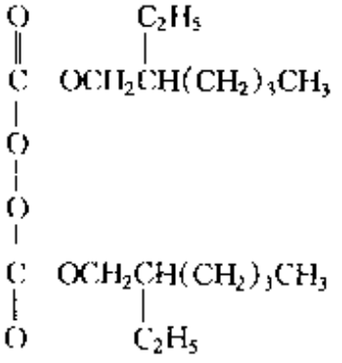
用途 用作聚氯乙烯、聚乙烯醇、有机玻璃等高分子聚合物的聚合引发剂，也用作塑料、橡胶的发泡剂。

生产厂家 上海化学试剂四厂、华北氧气厂、四川省天然气化工研究院、北京化工厂。

04104 过氧化二碳酸（2-乙基己基）酯 bis-（2-ethylhexyl）peroxydicarbonate

其他名称 EHP。

结构

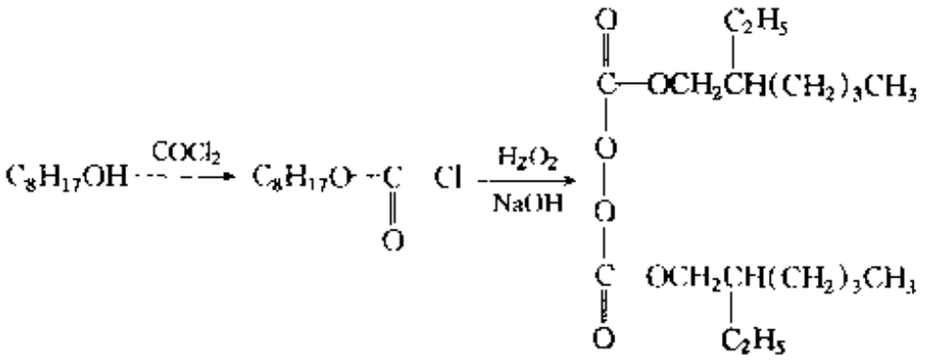


分子式 $C_{18}H_{34}O_6$

相对分子质量 346.47

性状 本品为无色透明液体。相对密度 0.964。商品为 50%～65% 的甲苯、二甲苯、矿物油溶液。理论活性氧含量 4.62。含量为 46% 的 EHP 溶液的半衰期为 40℃，10.33h；50℃，1.5h。受热或见光易分解，储运温度＜－15℃，时间少于 3 个月。

制法 将 2-乙基己醇在 10℃ 以下通入光气，先制成氯甲酸 2-乙基己酯，再将其与 20% H_2O 和 30% NaOH 反应，反应温度为 15℃ 左右，反应时间为 1h，然后分层、洗涤，用无水硫酸钠干燥，加甲苯或二甲苯稀释即得成品。



商品为微黄色油状透明液体，EHP 活性氧≥2.70%，NaCl 含量≤0.20%。

原料消耗

原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
光气	1331	烧碱	656
2-乙基己醇	745	双氧水	756

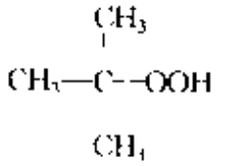
用途　游离基型引发剂，可作氯乙烯、高压氯乙烯及其他共聚物的引发剂，亦可用于聚异戊二烯橡胶中提高其强度。

生产厂家　太原化工厂、天津市有机化工二厂。

04105　过氧化氢叔丁基　*tert*-butyl hydroperoxide

其他名称　叔丁基过氧化氢；过氧化叔丁醇，第三丁基过氧化氢；*tert*-butyl hydrogen peroxide；1，1-dimethylethylhydroperoxide。

结构



分子式　$C_4H_{10}O_2$

相对分子质量　90.12

性状　无色透明或黄色液体。熔点 -8℃，沸点 35℃(2.66kPa)，40℃(3.06kPa)，相对密度(20/4℃)0.896，折射率 1.4007。能与乙醇、乙醚等有机溶剂混溶。在水中溶解度为 12g，呈弱酸性。在 75℃ 以下稳定，在 90～100℃ 失去氧，250℃ 时则爆炸。

制法　叔丁醇与硫酸反应生成硫酸氢叔丁酯，再与过氧化氢反应而得：

$$(CH_3)_3COH \xrightarrow{H_2SO_4,\ H_2O_2} (CH_3)_3COOH$$

将叔丁醇加入反应锅，搅拌下于 35℃ 加入过氧化氢，然后升温至 50℃，滴加 70% 硫酸，加完后反应 5h，温度保持在 55～60℃，静置分层，取上部油层用无水硫酸钠干燥、过滤，得叔丁基过氧化氢。

用途　用作聚合反应的催化剂。取代基反应中用作过氧化基团的引入剂。为一级有机氧化剂（高温时易爆炸）。

生产厂家　北京化工厂、上海试剂三厂。

04106　过氧化叔戊酸叔丁酯　*tert*-butyl peroxypivalate

其他名称　2，2-dimethylpropaneperoxoic acid 1，1-dimethylethyl ester。

结构 $(CH_3)_3CCOOC(CH_3)_3$（$C=O$）　**分子式** $C_9H_{18}O_3$

相对分子质量 174.24

性状 无色液体 熔点< -19℃，相对密度(25/25℃)0.854，折射率(n_D^{25})1.410，不溶于水和乙二醇，溶于多数有机溶剂。闪点 68～71℃，具有酯的气味。

制法 甲酸与异丁醇在硫酸催化下反应生成叔戊酸，再与三氯化磷进行酰氯化反应生成叔戊酰氯。后者与叔丁基过氧化氢在 20℃下反应生成过氧化叔戊酸叔丁酯。

$$(CH_3)_3CCH_2OH \xrightarrow[H_2SO_4]{HCOOH} (CH_3)_3CCOOH \xrightarrow{PCl_3}$$

$$(CH_3)_3CCOCl \xrightarrow{(CH_3)_3COOH} (CH_3)_3CCOOC(CH_3)_3 \quad (C=O)$$

其中，叔丁基过氧化氢是由双氧水与叔丁醇反应制取的。

原料消耗

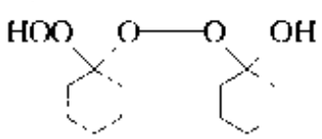
原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
甲酸	1000	双氧水	9570
异丁醇	1250	三氯化磷	820
叔丁醇	1400		

用途 用作氯乙烯单体悬浮聚合的引发剂，也可用作其他单体游离基聚合的引发剂。

生产厂家 福州化工二厂。

04107 过氧化环己酮 cyclohexanone peroxide

其他名称 1-[(1-hydroperoxycyclohexyl) dioxy] cyclohexanol; 1-hydroperoxycyclohexyl;1-hydroxycyclohexyl peroxide。

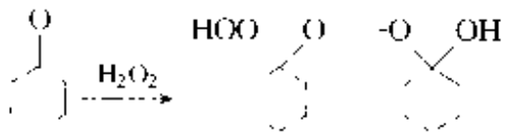
结构 　**分子式** $C_{12}H_{22}O_5$

相对分子质量 246.31

性状 白色或淡黄色针状结晶或粉末。熔点 76～80℃。溶于醇、苯、乙酸、石油醚、丙酮，不溶于水。有强氧化性。

制法 由环己酮与双氧水反应而得。

将冷至10℃以下的双氧水，加入到10℃以下等摩尔的环己酮中，升温至40℃左右，而后又下降至15℃，搅拌下加2mol/L盐酸，温度立即上升，控制不超过30℃，约1h后温度下降，杯内物逐渐固化，不停搅拌并加入蒸馏水，搅匀后放置1h，吸滤，用蒸馏水洗，然后用水调成粥状，加入10%氢氧化钠使pH值为8，过滤，水洗，滤干后室温晾干，得白色结晶成品，产率81%。为了运输和储存的安全，一般加水或惰性有机溶剂作稳定剂。国外市售商品有50%邻苯二甲酸二辛酯溶液。



本品遇高温、阳光暴晒，撞击（干粉），还原剂硫、磷等物质时，能引起燃烧和爆炸。金属粉末能促进其分解。

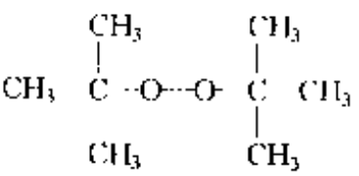
用途　橡胶和塑料合成的交联剂和引发剂。

生产厂家　广州化学试剂厂。

04108　**过氧化二叔丁基**　Di-*tert*-butyl peroxide

其他名称　过氧化二第三丁基；引发剂A；过氧化二叔丁烷；过氧化二叔丁酯bis(1,1-dimethylethyl)peroxide；DTBP。

结构

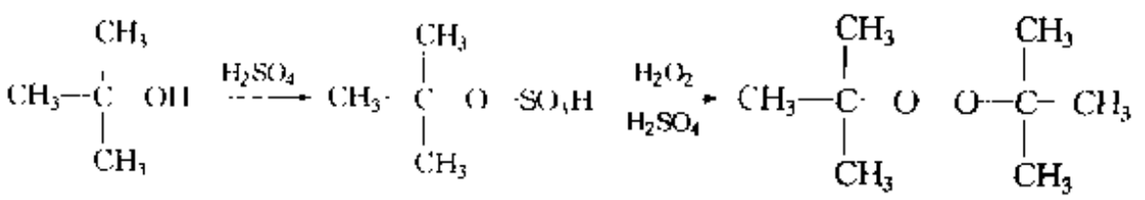


分子式　$C_8H_{18}O_2$

相对分子质量　146.22

性状　无色液体。熔点－40℃，沸点111℃，80℃(37.8kPa)，70℃(26.2kPa)相对密度(20/4℃)0.794，折射率1.3890。能与苯、石油醚等有机溶剂混溶。不溶于水。有强氧化性。

制法　由叔丁醇在浓硫酸中与过氧化氢反应而得。



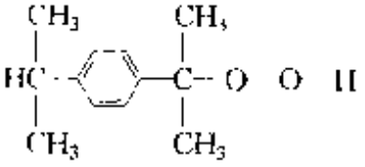
将222g(3mol)叔丁醇和140g(1mol)70%的硫酸混合冷却至-2～-8℃。在激烈搅拌下，于90min内滴加入126g(1mol)27%过氧化氢和400g(4mol)浓硫酸，加完后继续搅拌3h。分出油层，用60ml水洗，再用30%氢氧化钠溶液洗除叔丁基过氧化氢，最后用水洗。加硫酸镁干燥，过滤得成品。

用途 用作不饱和聚酯和硅橡胶的交联剂，还用作聚合引发剂。理论活性氧量10.94%，活化能146.9kJ/mol，半衰期218h(100℃)、34h(115℃)、0.15h(130℃)。

本品与还原剂接触或受冲击会爆炸。闪点18℃，易燃，其蒸气和空气混合形成爆炸混合物。能刺激眼睛、皮肤和呼吸道。

04109 过氧化氢二异丙苯 *p*-di-*iso*-propylbenzene hydroperoxide

结构

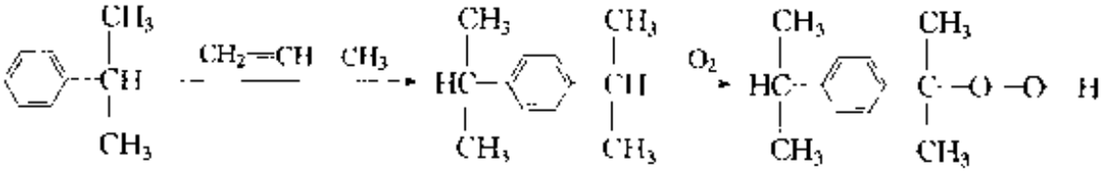


分子式 $C_{12}H_{18}O_2$

相对分子质量 194.24

性状 淡黄色透明油状液体。熔点30℃（纯度98.8%）。受热或与酸、碱接触易分解。

制法 本品为异丙苯氧化制苯酚丙酮的中间副产物：



在苯与丙烯反应制得的异丙苯中，二异丙苯的浓度一般为11%左右。将此二异丙苯用空气直接氧化，温度为110～120℃，氧化塔塔顶压力约0.3MPa，得到过氧化氢二异丙苯的氧化液，然后减压提浓至50%～60%，即作为产品，相对密度为（20/4℃）0.935～0.960，折射率1.4880～1.510。

用途 用作丁苯橡胶聚合用引发剂，其引发速度较过氧化氢异丙苯快30%～50%，但较过氧化氢三异丙苯及过氧化氢叔丁基异丙苯慢。也可用作其他高聚物的引发剂。

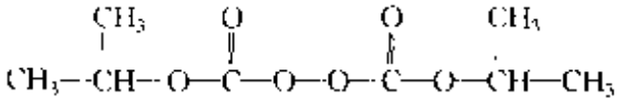
本品与皮肤接触会引起烧伤。

生产厂家 兰州化学工业公司。

04110 过氧化二碳酸二异丙酯 di-*iso*-propyl peroxydicarbonate

其他名称 IPP。

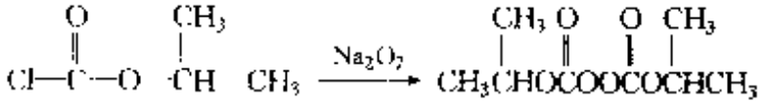
结构



分子式 $C_8H_{14}O_6$ **相对分子质量** 206.12

性状 低温下为无色结晶性粉末，常温下为无色液体。熔点 8～10℃，相对密度(15.5/4℃)1.080，折射率 1.4034。溶于脂肪烃、芳香烃、酯、醚及氯代烃，分解温度为 47℃。

制法 由氯代甲酸异丙酯与过氧化钠反应而得：



先将氢氧化钠溶液加入搪瓷玻璃反应锅中，滴加双氧水，温度保持在 10℃左右，得到过氧化钠溶液。将此溶液缓缓滴入氯代甲酸异丙酯中，温度严格控制在(10±2)℃，以防爆炸。加完后，继续搅拌至反应结束。静置分层，上层为乳白色的 IPP，下层为含碱杂质的母液。将下层放出，锅内物料用 12℃的冷水搅拌洗涤，静置分层，水在上层，IPP 在下层。放出 IPP，加二甲苯稀释至含量 55%～60%，于 -4℃冷藏备用。

附：氯代甲酸异丙酯的制备 氯代甲酸异丙酯($C_4H_7ClO_2$,[108-23-6])可由异丙醇与氢氧化钠溶液加入搪瓷玻璃反应锅内，于 40℃通光气 5～7h，得到氯代甲酸异丙酯透明液体，水洗后低温保存。

原料消耗

原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
氯代甲酸异丙酯	1620	双氧水(39%)	660

用途 本品为游离基型引发剂，用于氯乙烯及其他单体的聚合和共聚。

本品对温度、撞击及酸、碱等化学药品特别敏感，极易分解，引起爆炸。对眼睛和黏膜有强烈刺激性。

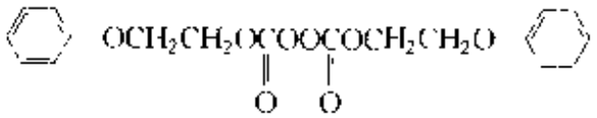
生产厂家 上海天原化工厂。

04111 引发剂 BPPD initiator BPPD

其他名称 过氧化二碳酸双(2-苯氧乙基)酯 bis(2-phenoxyethyl)

peroxydicarbonate。

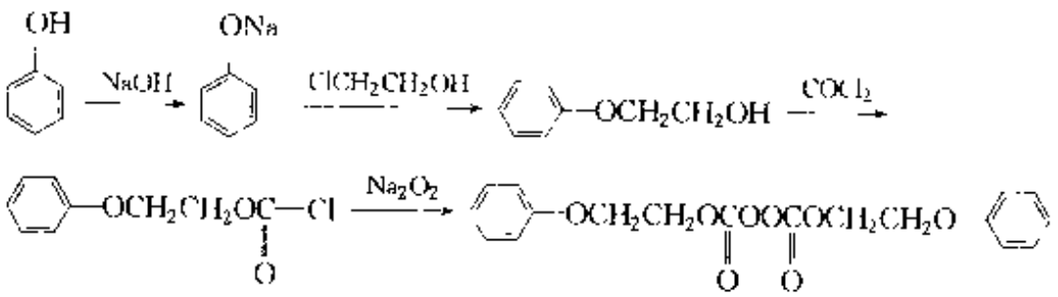
结构



分子式 $C_{18}H_{18}O_8$ **相对分子质量** 362.34

性状 白色或微黄色粉末。熔点 97～100℃（在 92～93℃开始分解）。不溶于苯、甲苯、乙醚，易溶于氯仿。

制法 由苯酚与烧碱配制成苯酚钠，与氯乙醇反应得到 2-苯氧基乙醇，再与光气合成氯甲酸 2-苯氧基乙基酯，然后与过氧化钠反应制得引发剂BPPD。



工业品 BPPD 含量≥85%。

原料消耗

原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
苯酚	760	双氧水(30%)	580
氯乙醇(30%)	2700		

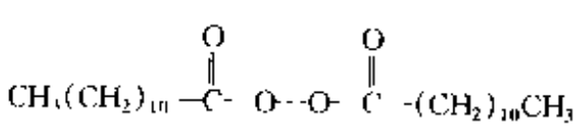
用途 高效聚合物引发剂，也用作橡胶硫化促进剂。

生产厂家 邵阳市化工二厂。

04112 过氧化十二酰 lauroyl peroxide

其他名称 过氧化月桂酰；引发剂 B；dodecanoyl peroxide；dilauroyl peroxide。

结构

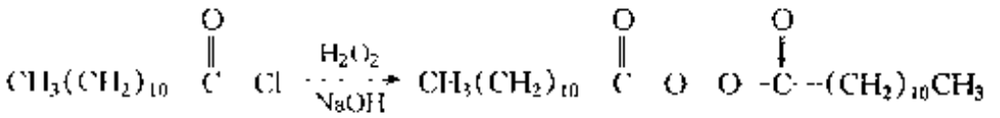


分子式 $C_{24}H_{46}O_4$ **相对分子质量** 398.63

性状 白色粗粒状粉末。熔点 55～57℃，分解温度 70～80℃。易溶于丙酮、氯仿等有机溶剂及油类，不溶于水。常温下稳定，受热易爆炸。

无味，有愉快气味。

制法 由十二酰氯与双氧水反应而得。将十二酰氯溶解在石油醚中，加入氢氧化钠，然后加6%双氧水氧化。当温度升至45℃时，在剧烈搅拌下，向反应混合物加入冰水冷却，搅拌过滤出结晶，洗至中性，晾干即为成品。



用途 聚氯乙烯、高压聚乙烯的高效引发剂，常与引发剂A（二叔丁基过氧化物）并用。食品工业和油脂生产中用作漂白剂。

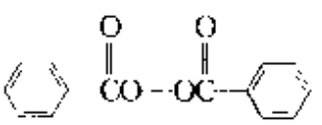
本品为一级有机氧化剂，储存时用水覆盖。

生产厂家 天津有机化工二厂。

04113 过氧化苯甲酰 benzoyl peroxide

其他名称 过氧化二苯甲酰；苯酰化过氧；dibenzoyl peroxide；benzoyl superoxide；Lucidol。

结构

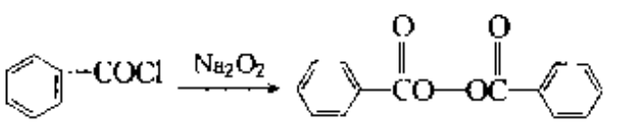


分子式 $C_{14}H_{10}O_4$

相对分子质量 242.22

性状 白色结晶，熔点106～108℃，溶于苯、氯仿、乙醚、丙酮、二硫化碳，微溶于水和甲醇。遇热能爆炸。储存时应注入25%～30%的水。

制法 使双氧水与30%液碱反应，生成过氧化钠溶液，再与苯甲酰氯反应而得。



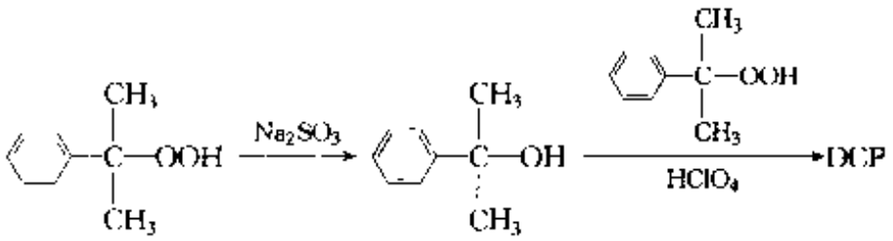
反应在0℃左右进行，温度过高则引起双氧水分解，苯甲酰氯也易分解生成苯甲酸而影响收率。

将析出的过氧化苯甲酰过滤、洗涤、干燥即得成品。

工业品的过氧化苯甲酰含量可达99%（二级品），熔点102～106℃。

需要提纯时，可用醇类、丙酮、苯及其他合适的溶剂进行重结晶。

制法　由过氧化氢异丙苯经还原、缩合而得：



用亚硫酸钠将过氧化氢异丙苯在62～65℃还原为苄醇。然后在高氯酸催化剂的存在下，使苄醇与过氧化氢异丙苯在42～45℃缩合，得到过氧化二异丙苯缩合液。经10%氢氧化钠溶液洗涤、真空蒸馏提浓后，再溶于无水酒精，于0℃以下结晶，过滤干燥即得硫化剂DCP。工业品含量97%。

原料消耗

原料	消耗/(kg/t)	原料	消耗/(kg/t)
过氧化氢异丙苯(32%～35%)	1500	高氯酸	2
亚硫酸钠	978		

用途　天然胶、合成胶、聚乙烯树脂用硫化剂和交联剂，不用于硫化丁基胶。日本用作电缆护套的聚乙烯的交联剂占70%，另外一部分用于EVA的交联泡沫材料、橡胶硫化、不饱和聚酯的固化交联剂等。交联聚乙烯作为电缆绝缘材料，不仅使聚乙烯具有优良的绝缘性和加工性能，而且提高了耐热性。100份聚乙烯使用本品2.4份，DCP可使EVA泡沫材料形成细微均匀的泡孔，同时提高了耐热性和耐候性。

本品也用作高聚物的引发剂。

本品对小鼠口服LD_{50}3500～4000mg/kg。对人的皮肤具弱刺激性。但本品的分解产物异丙醇苯和苯乙酮有较强刺激性。

生产厂家　抚顺市化工五厂、上海高桥石油化工公司化工厂、太仓县塑料助剂厂。

第二节　强酸性阳离子交换树脂

强酸性阳离子交换树脂可以视作固体的酸，大多数使用无机酸作催化剂的有机反应都可以使用强酸性阳离子交换树脂作催化剂。与无机酸催化剂相比该类催化剂的优点是，反应条件比较温和，副反应较少，反应收率高，对设备的腐蚀作用较小，对环境的污染比较小；催

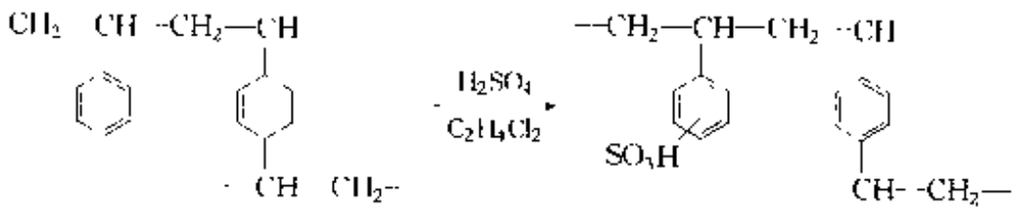
化剂可以装填在反应柱中，便于大规模工业化连续生产。由于催化剂可以再生并多次重复使用，因此便于降低反应的成本，产生较好的经济效益。

强酸性阳离子交换树脂的合成方法如下。

（1）悬浮聚合法合成苯乙烯二乙烯苯共聚物微球



（2）苯乙烯二乙烯苯共聚物微球的磺化反应

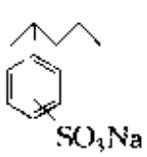


04201 **强酸性阳离子交换树脂** strong acid cation exchange resin

国外树脂牌号 Amberlyst 15，Amberlite IRA-200，Dowex 50W，Bio-Rad AG 50W-X/2，Amberlite IR 120B，Lewatit MP，Rexyn 101，Wofatit 80，Wofatit KPC，Ostion KS，Wofatit，Lewatit SC-102，Lewatit SPC108，Amberlite IR-400，Amberlite IR-120，Ambrlyst XE386。

国产树脂牌号 001×7，735，732，D72，D-61，D31，D51D001-CC。

结构



用途 Amberlyst 15 作催化剂由异丁烯生产甲基叔丁基醚（MTBE），最近报道使用 Amberlyst 35 作催化剂效果更好。

2-呋喃醛与苯氧丙酮（等当量）在氯仿中含约 1mol/L 的二硫醇和 Amberlyst 15 在室温下搅拌 21h 可得 96% 收率的缩醛产物。

在甲醇中用 Amberlyst 15 为催化剂，在室温下胆酸类化合物可高产率地进行甲酯化。

用强酸离子交换树脂催化由酚和丙酮缩合合成双酚 A，可以避免常法使用硫酸和氯化氢催化法对设备的强腐蚀性和污水对环境的污染。

Lewatit SPC108 催化 2-甲基呋喃或 2-甲基噻吩与各种醛缩合成取代的甲烷衍生物，收率接近定量。

Amberlite IR-400 催化4-(二甲氧基）丁醛的环化反应生成2,5-二乙氧基四氢呋喃，收率为 87%。

D72 树脂与二甘醇（1∶10.6），在 170℃，6.7×10^4Pa 下反应，可得 95%的纯1,4-二噁烷。

丙酮和氨在 Ostion KS 柱中 60℃，1MPa 下可连续制得缩合物2,2,6,6-四甲基-4-四氢吡啶酮。

四氢吡喃保护的羟基酯在 Dowex 50WX8 催化下，生成不饱和的环内酯。

在 Amberlite IR 120 存在下，在 205～210℃加热季戊四醇脱水得到缩聚物。

用 Amberlite IR 120 催化液状聚丁二烯的环氧化反应。

生产厂家　江阴有机化工厂、山东东大化学工业集团公司、廊坊市电力树脂有限公司、上海罗门哈斯化工有限公司、北京化学工业集团有限责任公司东方化工厂分厂、江都特种树脂厂、丹东化工三厂、安徽皖东化工厂、南京市第一精细化工公司树脂厂、西安电力树脂厂、南开大学化工厂、河南鹤壁市树脂有限责任公司、宜宾天原股份有限责任公司、江都树脂厂、太原树脂厂、江苏电力实业有限公司常州市振兴化工厂、福建南安天泉树脂有限公司、河北新河树脂厂、杭州千秋化工有限公司、漂莱特（中国）有限公司。

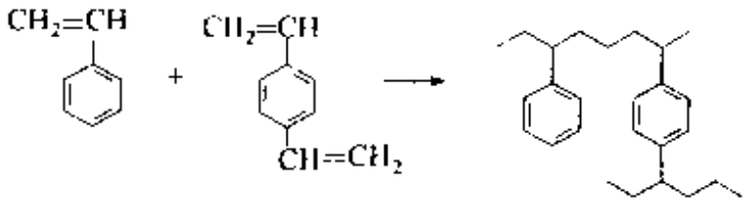
第三节　强碱性阴离子交换树脂

OH 型强碱性阴离子交换树脂可以看作为固体的碱。一般地说，所有使用无机碱作催化剂的有机反应，都可以使用 OH 型强碱性阴离子交换树脂作催化剂。OH 型强碱性阴离子交换树脂的碱性比无机碱要弱，因此催化反应的条件比较温和，副产物比较少，反应的收率比

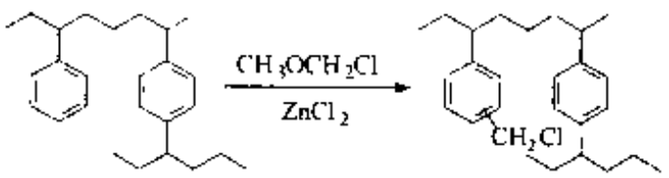
较高，催化剂容易与反应体系分离并重复使用。

强碱性阴离子交换树脂的制备方法如下。

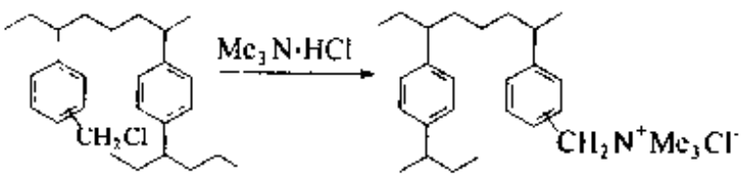
（1）悬浮聚合法制备苯乙烯-二乙烯苯共聚物珠体



（2）苯乙烯-二乙烯苯共聚物珠体的氯甲基化



（3）氯甲基化苯乙烯-二乙烯苯共聚物珠体的胺化



04301　**OH 型强碱性阴离子交换树脂**　strong basic anion exchange resin(OH type)

离品牌号　201×4、201×7、214、707、711、717、D290、D296、D261、1299、259。

用途　（1）十二醇与氢溴酸合成溴化十二烷。最佳反应条件：十二醇与氢溴酸 mol 比 1.0∶1.0；浓硫酸加入量＝1/2 氢溴酸，强碱性阴离子交换树脂 6%，回流反应 4h，收率 98.8%。

（2）催化两分子丙酮缩合制备 2-甲基-2-戊烯醛。反应温度 30℃，反应时间 2h，溶剂：苯 5ml，强碱性阴离子交换树脂/丙醛＝10mmol/20mmol，收率 93.54%。

（3）阴离子交换树脂催化醇的氰乙基化反应。使用 D-396 树脂催化丙烯腈与醇的加成反应，在 28℃反应 4h，收率 60%～90%。

（4）使用 D-290 阴离子交换树脂催化丙烯腈与乙二醇及 1,2-丙二醇的 Michal 加成反应。反应温度 30℃，反应时间 4.5h，收率分别为 88%和 90%。

（5）使用三丁胺胺化的强碱性阴离子交换树脂催化合成羧酸苄酯。该催化剂的强碱交换量为1.76mmol/g，使用该催化剂合成乙酸苄酯、丙酸苄酯、丁酸苄酯、戊酸苄酯的收率分别为100%、100%、99.5%、94.1%。

（6）使用三丁胺胺化的强碱性阴离子交换树脂催化合成亚苄基丙酮。使用该催化剂合成亚苄基丙酮的最优化条件为：0.3g催化剂，30ml丙酮，20ml 5% NaOH溶液，在此优化条件下，催化剂重复使用5次，收率在96.4%～99.0%之间。

（7）季铵化的聚乙烯吡啶（OH^-）树脂催化丙酮与丙烯腈反应得到$AcCHMeCH_2CH_2CN$和$AcCMe(CH_2CH_2CN)_2$的混合产物。

（8）强碱树脂Lewatit MP-62催化丙烯腈水合，上述三重物质的混合物，在68℃条件下搅拌8h可得68.1%的二腈乙基醚。

（9）201×7强碱性阴离子交换树脂催化丙烯腈水合，反应温度50℃，时间6h，催化剂用量/丙烯腈≈1.5/1（质量比）；丙烯腈/H_2O=11/6（质量比），产物羟丙腈的收率达到85%，催化剂重复使用12次，活性没有降低。

（10）聚乙烯吡啶树脂Reillex 425，也是强碱性阴离子交换树脂在130℃二甲苯中可催化酚与三氯化磷生成氯化偏磷酸酯。

（11）强碱树脂Dowex MSA-1用于催化碳酸乙二醇酯与甲醇反应制备碳酸二甲酯。碳酸酯的转化率48%，选择性99%。

（12）强碱树脂Diaion PA306S（OH^-）可催化甘油单、双和三酯，完全水解为甘油和脂肪酸。

（13）Amberlite IRA-400（OH^-）树脂可连续催化乙酸异戊酯水解。

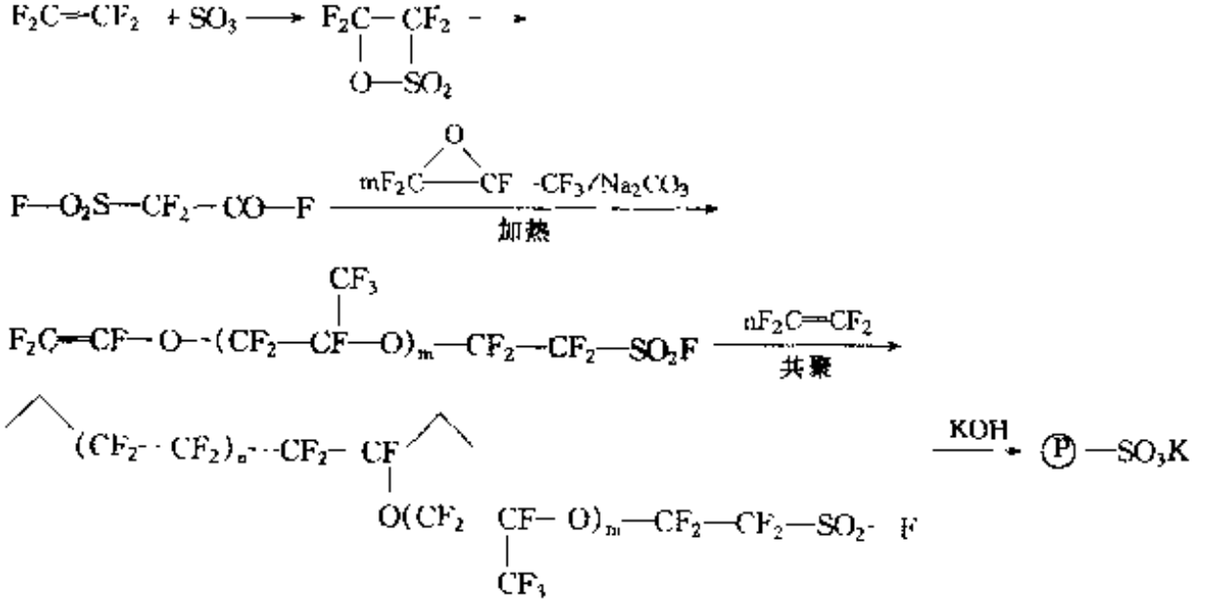
（14）聚苯乙烯树脂支载1,8-二氮双环[5,4,0]十一碳-7-烯可以高产率地催化苯甲酸与溴丁烷反应，脱去一分子溴化氢生成酯，ω-溴代羧酸脱去溴化氢合成大环内酯。

生产厂家　江阴有机化工厂、山东东大化学工业集团公司、廊坊市电力树脂有限公司、上海罗门哈斯化工有限公司、北京化学工业集团有限责任公司东方化工厂分厂、江都特种树脂厂、丹东化工三厂、安徽皖东化工厂、南京市第一精细化工公司树脂厂、西安电力树脂厂、南开大学化工厂、河南鹤壁市树脂有限责任公司、宜宾大原股份有限责

任公司、江都树脂厂、太原树脂厂、江苏电力实业有限公司常州市振兴化工厂、福建南安天泉树脂有限公司、河北新河树脂厂、杭州千秋化工有限公司、漂莱特（中国）有限公司。

第四节　全氟磺酸树脂

全氟磺酸树脂是带磺酸基的全氟碳聚合物，商品名为 Nafion，20 世纪 60 年代末由美国杜邦（DuPont）公司开发。国外市场出售的 Nafion 是全氟碳聚合物钾盐，型号有：Nafion R，Nafion XR，Nafion 511，Nafion XR-500 等。用做催化剂时，一般都用强无机酸把钾盐转化成氢型，即 Nafion-H，相对分子质量为 1000～50000。由于 Nafion-H分子中引入电负性极强的氟原子，产生强烈的场效应和诱导效应，从而导致分子内—SO_3H 中的 H^+ 极易解离，使该树脂呈现很强的酸性，它的 Hammett 酸性函数值 $H_0=-10\sim-12$（100%浓硫酸为 12.3;40%浓硫酸为 -2.4；Amberlyst 15 强酸树脂为 -2.2）。因此，它可以代替传统无机强酸如硫酸作催化剂并且具有不腐蚀反应容器、产品易分离、简化工艺、减少三废污染同时催化剂可以重复使用等优点。它的化学结构及制备方法如下。该树脂具有良好的热稳定性和化学稳定性，已广泛用于催化各种有机反应。



04401　**全氟磺酸树脂**　perfluorinated sulfonic acid resin

性能　Nafion-H；最高使用温度 180～190℃；结构无孔；表面积约

$0.8m^2/g$。

制法　全氟磺酸树脂可由全氟乙二醇二乙烯基醚与氯磺酸反应而引入磺酸基后，再与四氟乙烯共聚而成。

规格　全氟磺酸树脂作为催化剂使用的牌号品种，有 Nafion-H、Nafion-501、Nafion-XR、Nafion-425 和 Nafion-XR500 等五种，总称 Nafion 树脂。

商品 Nafion 树脂多以钾型出厂，使用前必须转成 H 型。

用途　(1) 酰基化反应　将苯或烷基苯与苯甲酰氯及催化剂 Nafion 树脂混合，回流加热，即可发生酰化反应。对二甲苯的苯甲酰化在 135℃下进行，2,5-二甲基二苯甲酮的产率约 85%。Nafion 树脂可过滤回收。

(2) 重排反应

① Fries 重排：用 Nafion 树脂为催化剂，以无水硝基苯为溶剂，回流加热，可将酚酯类转化为羟基苯基酮类。

② 片呐醇重排：此反应可用于酮类的制备，产率达 82%～92%，例如，四甲基乙二醇重排得片呐酮；四苯基乙二醇重排得三苯基苯乙酮。

③ Rupe 反应：炔基叔醇经 Rupe 反应重排为 α,β 不饱和羰基化合物。

④ 烯丙基醇重排为醛的反应：气相的烯丙基醇在 170～190℃通过 Nafion 树脂层，则重排为相应的醛。

(3) 醚的合成

① 环醚：将1,4-二醇或 1,5-二醇在135℃下用 Nafion 树脂催化脱水，可顺利地获得环醚。此反应无须溶剂，产率在 86%以上。

② 缩醛和缩酮：形成缩醛和缩酮是羰基保护的一个重要方法，可使醛、酮避免在反应中受氧化剂或碱性试剂的破坏，用 Nafion-501 作催化剂进行缩醛（酮）化反应，可以得到好的收率，详见下表

化合物	R1	R2	收率/%
二甲基缩醛和缩酮	$(-CH_2-)_5$		98
	CH_3	n-C_5H_{11}	83
	CH_3	ph	93
	H	ph	87

亚乙基二硫代缩酮	$(-CH_2-)_5$		91
	$(-CH_2-)_6$		100
	phCH	$phCH_2$	100
	ph	CH_3	96
	ph	ph	100

③ 无环醚　酚类和醇类的醚化在 Nafion 树脂催化下，经 120～150℃，5h 反应，可生成芳醚。对苯二酚在 75℃下，经 Nafion 树脂催化与异丁烯反应 2h，其醚化产率为 66%。Nafion 树脂在 80℃下催化异丁烯与甲醇反应，产物为甲基叔丁基醚，以甲醇计算，产率为 81.8%。在 Nafion 树脂的催化下，将醇类与过量的二甲氧基甲烷回流加热，可制备甲氧基甲醚。

（4）酯化反应　Nafion 树脂作为酯化反应的催化剂用于液相反应和气相反应均可。饱和羧酸和醇的混合物在 95～125℃通过 Nafion 树脂，接触时间约为 5min，即可获得高产率的酯。伯醇和仲醇酯化产率甚高，但叔醇产率很低，主要原因是叔醇在反应中易脱水成烯。

（5）水合反应　外径为 1/16in 的聚全氟磺酸管可用于异丁烯水合，生成物是叔丁醇，水合温度为 96℃。

（6）缩合反应

① 丙酮的缩合反应：在 Nafion 树脂的催化下，丙酮和苯酚缩合可制备双酚 A。在 Nafion 树脂的催化下，丙酮能进行醇醛缩合并脱水成为亚异丙基丙酮。

② 分子内环化缩合反应：在 150℃下经 Nafion 树脂催化 3h，邻苯酰苯甲酸发生分子内环化缩合，产物为蒽醌。此反应邻苯酰苯甲酸的转化率为 60%，生成蒽醌的选择性达 78%。

（7）齐聚反应　Nafion 树脂催化 1-癸烯进行齐聚反应，齐聚物总收率为 75.9%。其中二聚体占 70.6%，三聚体占 19.1%，四聚体占 3.4%。7-十四碳烯，2-辛烯，5-癸烯都可以进行齐聚反应。

（8）硝化反应　在 Nafion 树脂催化下，分别用 HNO_3、N_2O_4、n-C_4H_9O-NO_2 成丙酮氰醇的硝酸酯（CAN）等几种不同的硝化剂都可使烷基苯硝化。

（9）烷基化反应　Nafion 树脂催化芳烃的烷基化反应可在气相或

液相中进行，产物为芳香族衍生物，烷基化试剂有卤代烷、氯甲酸酯和草酸烷基酯等。烯烃和醇也是潜在的烷基化试剂。例如，在175℃下，按一定流量通过乙烯和苯，可使苯乙基化，乙烯的转化率达100%，生成苯乙烯的选择性为88%。气相的萘和丙烯通过Nafion树脂催化剂层，萘可被烷基化。

（10）环氧键的打开　在Nafion树脂催化下，有机物的环氧键能通过水合或甲醇解而打开，产率甚高。例如，用Nafion树脂或载体Nafion树脂在92℃催化环氧乙烷水合可获得乙二醇。

（11）Diels-Alder反应　Nafion树脂的催化作用使Diels-Alder环加成反应能在较低温度下进行。例如，蒽分别和马来酸酐、对苯醌、马来酸二甲酯以及富马酸二甲酯的反应，可在60～80℃、在$CHCl_3$或苯的回流下进行。

（12）脱酰化反应　在Nafion树脂催化下，也能进行芳烃取代物的脱乙酰反应和脱羧反应。

（13）光异构化　Nafion树脂作为固体酸催化剂使用，在光照下可使反式肉桂酸乙酯光异构化，产物含顺式异构体73%，反式异构体27%。3-亚甲基-1,2,4,5,6,6-六甲基环己-1,4-二烯在光照和Nafion树脂催化下，异构化成以环戊二烯衍生物为主要组分的混合物。反应体系中无Nafion树脂时，则不发生光异构化反应。

（14）羰基化反应　用有机极性溶剂对二氧环己烷的水溶液溶胀Nafion树脂作催化剂，催化甲醛的羰基化反应，生成羟基乙酸的产率达70%，反应温度为150℃。

（15）固定化试剂　酸型的聚全氟磺酸和氯化三甲基硅烷反应，生成一种聚合物载体甲硅烷化试剂。

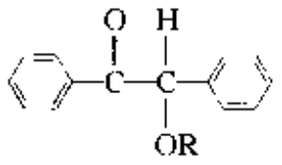
第五节　光敏引发剂

紫外光固化涂料是新一代绿色环保化工产品，由于其性能优良，近几年获得了快速发展，光敏引发剂作为紫外固化涂料的重要组成部分，也随之获得迅猛发展，光敏引发剂的种类繁多，如阳离子型、安息香型、苯乙酮类、芳香酮类和酰基氧化膦类等，它们具有不同的结构、特性和引发机理，如分解反应机理、氢提取反应机理、电荷转移

04502　**安息香醚**　benzoin ether

其他名称　Esacure，CB3，Trigonol 14。

结构



R＝乙基、丁基、异丙基

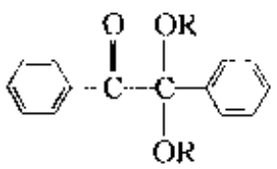
性状　黄色液体，溶解性好，储存稳定性差，吸收波长 220～365nm。

生产厂家　Fratell，Lamberti，Akzo.

04503　**安息香双醚(苯偶酰缩酮)**　benzoin bis-ether

其他名称　Irgacure 651，Esacure KB，Lucerin BDK。

结构



R＝乙基，丁基，异丙基

性状　固体，效果好，有黄变；吸收波长约 300nm。

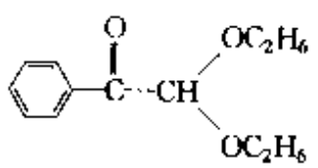
生产厂家　Ciba-Geigy，Fratell，Lamberti，Akzo.

二、自由基型苯乙酮类光引发剂

04504　**2,2-二乙氧基苯乙酮**　2,2-diethoxy acetophenone

其他名称　DEAP。

结构



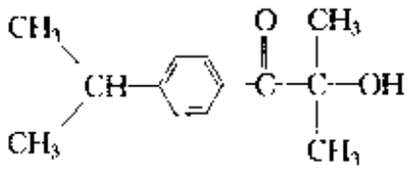
性状　液态，吸收波长 225～300nm。

生产厂家　Upjohn.

04505　**对异丙基苯基-2-羟基-2,2-二甲基-1-丙酮**　*p*-isopropyl,2,2-dimethyl,2-hydroxy acetophenone

其他名称　Darocure 1116.

结构



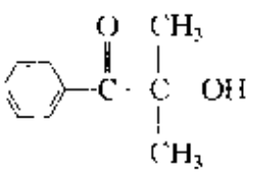
性状 液态，吸收波长 224～375nm。

生产厂家 E.Merk.

04506 **2-羟基-2,2-二甲基-1-苯基-1-丙酮** 2,2-dimethyl,2-hydroxy acetophenone

其他名称 Darocure 1173。

结构



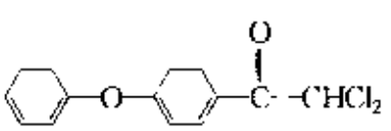
性状 液态，水白色，不泛黄，储存稳定。吸收波长 225～375nm。

生产厂家 E.Merk.

04507 **对苯氧基-2,2-二氯苯乙酮** *p*-phenyloxy,2,2-dichloro acetophenone

其他名称 Nuvopol PL2000。

结构



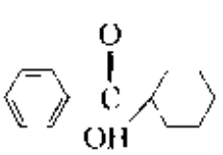
性状 用作树脂内的糊，吸收波长 250～330nm。

生产厂家 H.John.

04508 **1-羟基-环己基苯甲酮** 1-hydroxy hexyl phenyl acetone

其他名称 Irgacure 184。

结构



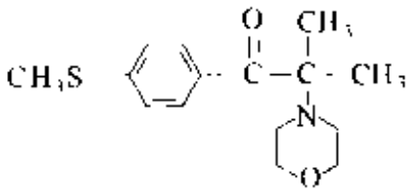
性状 固体，低味，低污染，不泛黄，吸收波长 210～360nm。

生产厂家 Ciba-Geigy.

04509　1-[(4-甲硫基)苯基]-2,2-二甲基 2-吗啉丙酮　4-methylthio,2,2-dimethyl,2-morpholine acetophenone

其他名称　Irgacure 907.

结构



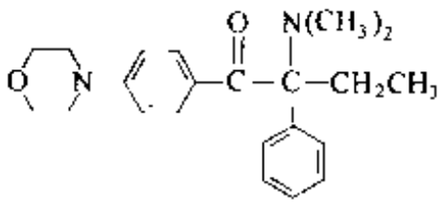
性状　固体，特别适用于色漆，吸收波长 300nm。

生产厂家　Ciba-Geigy.

04510　2-苯基-2-(*N*,*N*-二甲基)氨基-1-(4-吗啉苯基)-丁酮　4-morpholine,2-phenyl,2-ethyl,2-(*N*,*N*-dimethyl)amine acetophenone

其他名称　Irgacure 369.

结构



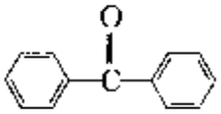
性状　微黄色固体，特别适用于色漆，吸收波长 200～420nm。

生产厂家　Ciba-Geigy.

三、自由基型芳香酮类光引发剂

04511　二苯甲酮　benzophenone

结构



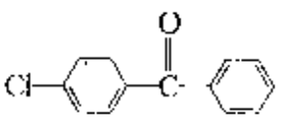
性状　固体，溶解性良好，一般作为水白色用，吸收波长 240～350nm。

生产厂家　Upjohn，Hans Rabn，etc.

04512　氯化二苯甲酮　4-chloro benzophenone

其他名称　Acetocure X-500.

结构



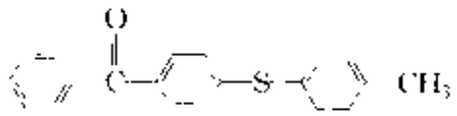
性状 固体，溶解性良好，气味小。

生产厂家 Aceto Chemical.

04513 **4-苯甲酰基-4′-甲基二苯硫醚** 4-methyl,4′-benzoyl diphenyl sulfide

其他名称 Quantracure BMS.

结构



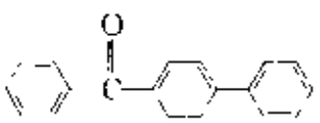
性状 固体，溶解性好，价格高，与某些颜料共用无效。

生产厂家 Ward Blankisop.

04514 **4-苯基二甲苯酮** 4-phenyl Benzophenone

其他名称 Trigonal.

结构



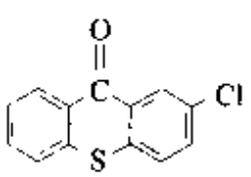
性状 固态，溶解性好。

生产厂家 Akzo.

04515 **2-氯代硫杂蒽酮** 2-chloro thioxanthen-9-one

其他名称 Quantacure CTX.

结构



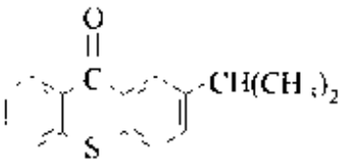
性状 固体，溶解性差，黄色，气味小，价格较高，吸收波长 200～420nm。

生产厂家 Aceto Chemical.

04516 **2-异丙基硫杂蒽酮** 2-isopropyl thioxanthen-9-one

其他名称 Quantacure ITX.

结构



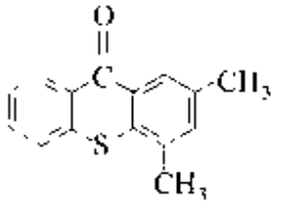
性状 固体,黄色,溶解性一般,低浓度时有效。吸收波长 250～400nm。

生产厂家 Aceto Chemical。

04517 **2,4-二甲基硫杂蒽酮** 2,4-dimethyl thioxanthen-9-one

其他名称 Kaycure RTX。

结构



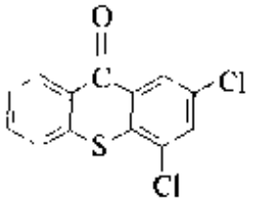
性状 溶解性好，价格极高。吸收波长 250～400nm。

生产厂家 Nippon Kayaku。

04518 **2,4-二氯硫杂蒽酮** 2,4-dichloro thioxanthen-9-one

其他名称 Kaycure CTX。

结构



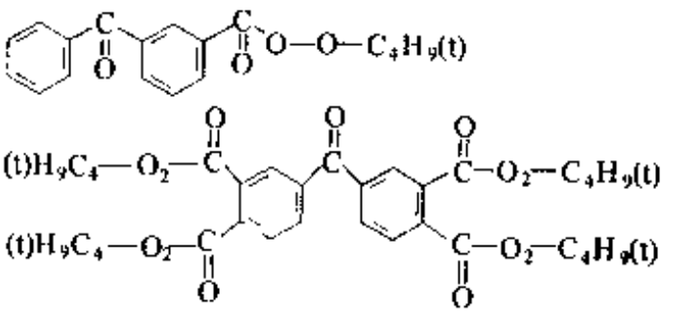
性状 溶解性好，价格高。吸收波长 225～400nm。

生产厂家 Nippon Kayaku。

四、电子受体型自由基源光聚合引发剂 (PPI)

04519 **芳香族单环甲酸过氧叔丁酯** aromatic monocyclic t-butyl performate

结构



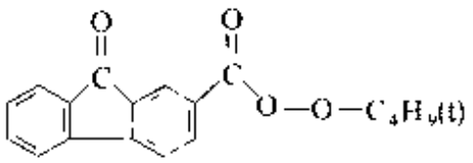
增感剂类型　菁染料、份菁染料、噻吟系染料、二烷氨基亚苯基噻唑和香豆素酮系染料。芳香族锑盐。

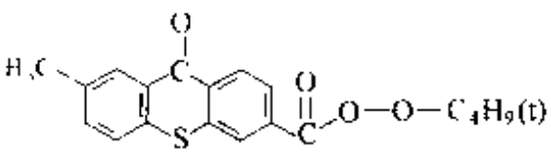
光谱范围/nm　300～500

开发研究公司　日本油脂、千叶大学等。

04520　**芳香族稠环或杂环甲酸过氧叔丁酯**　aromatic condensed ring and hetrocyclic t-butyl performate

结构





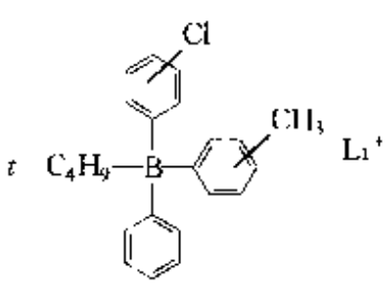
增感剂类型　咪氏酮类染料。

光谱范围/nm　300～500

开发研究公司　Viokers PCC.

04521　**三芳基硼烷络合物**　phenyl chlorophenyl methylphenyl boron t-butyl lithium

结构



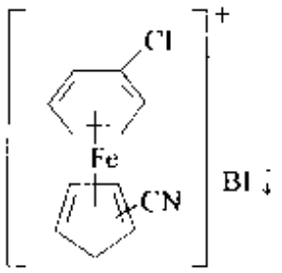
增感剂类型　菁染料、阳离子或阴离子型染料，香豆素酮、噻吟系染料等，咪氏酮/三卤甲基均三嗪。

光谱范围/nm　420～850，400～500，400～500。

开发研究公司　米德、东洋纺织、富士胶片。

04522 **芳基环戊二烯络合物** nitrile cyclopentadienyl chloro benzene iron tetrafluoroborate

结构



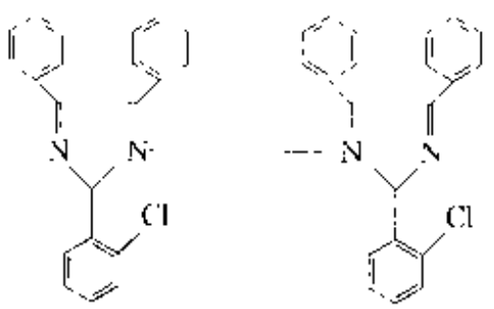
增感剂类型 二烷氨基苯乙烯吡啶或喹啉衍生物，香豆素酮类染料。

光谱范围/nm 400～500，300～500。

开发研究公司 日本纺织、大日本印刷。

04523 **六芳基双咪唑** 2,2′-di-*o*-chlorophenyl 4,4′,5,5′-tetraphenyl diimidazole

结构



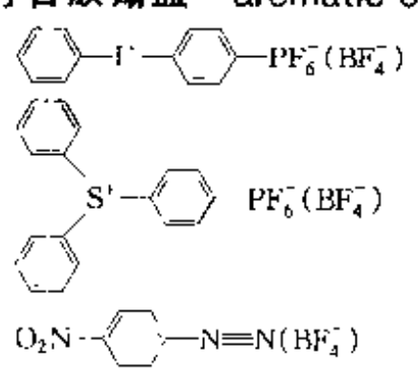
增感剂类型 上述各类增感染料都适用。

光谱范围/nm 300～750。

开发研究公司 杜邦。

04524 **芳香族鎓盐** aromatic onium salt

结构

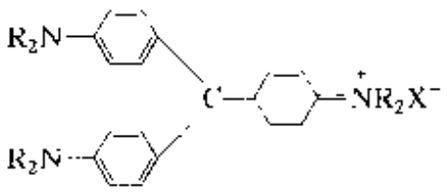


增感剂类型 香豆素酮类染料，有机胺染料；硫杂蒽酮类化合物。

取代基	$R=C_2H_5$　　$n=1$	$R=C_2H_5$　　$n=2$
硼阴离子	$Ph_3B\text{-}(C_4H_9)_2$	$Ph_3B\text{-}(C_4H_9)_2$
吸收波长/nm	633	830
开发研究公司	佳能	佳能

04528　三芳甲烷系　triphenyl methane

结构通式



取代基　$R=C_2H_5$

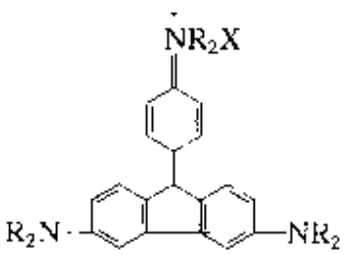
硼阴离子　$Ph_2B\text{-}(C_4H_9)_2$

吸收波长/nm　633

开发研究公司　佳能。

04529　芴系　9-aniline fluorene

结构通式



取代基　$R=CH_3$

硼阴离子　$Ph_3B\text{-}(C_4H_9)_2$

吸收波长/nm　830

开发研究公司　佳能。

参　考　文　献

1　Orerberger, et al.. J. Am. Chem. Soc.. 1949, 71, 2661

2　Nicholas. A. M. et al　J. Am. Chem. Soc . 1946, 68, 205

3　Kropf. H. et al.. Terrahedron. 1974, 30. 2943

4　Umbreit. M. A. et al.. J. Am. Chem. Soc　1977, 99, 5526

5　Breslow. R　et al.. Terrahedron Lett.　1978, 887

6 Fukuyama. T. et al., Tetrahedron Lett 1978, 2741
7 Milas. N. A et al., J. Am Chem. Soc., 1946, 68, 205
8 Schenach. T. A., Chem Eng News. 1973, 51, 29
9 Kirk-Othmer Encycl. Chem. Technol., 3rd ed., 13. 363, 17. 36
10 Kirk-Othmer Encycl. Chem. Technol 3rd ed., 4, 770, 17 67
11 Fieser et al. J. Am. Chem. Soc., 1948 70. 73
12 Gambarjan S , Chem. Ber., 1909. 42. 4003
13 Hey, D. H. et al., J. Chem. Soc . 1948 2213
14 Cadogan. J I. G., J Chem Soc. 1959. 2844
15 Petrini M , Ballini. R., Marcantoni. E., Rosini. G . Syn. Commun. 1988. 18. 847
16 Patwardhan A. A., Sharma. M. M., React. Polym , 1990, 13. 161
17 Showa Denko K K. JP 88 289. 549
18 崔益龙. 石油化工. 1990, 19 214
19 Hori. K., Takaishi N., JP 89 38. 041
20 Talinli. N , Akar. A., Aydogan. A. C., Tetrahedron. 1987, 43. 3505
21 Ballini. R., Petrini. M., Synthesis. 1990, (4), 336
22 Scott L T., Naples. J. O., Synthesis 1973. 209
23 夏笃伟. 离子交换树脂. 北京：化学工业出版社. 1983. 218
24 Ranu. B C., Chakraborty R., Syn, Commun., 1990. 20. 1751
25 Dol. S., Takayanagi. Y., Hara, Y. JP 87281, 849
26 Inomata. M., Myama. K., Itoi. A., Yamauchi, A., JP 89 131. 142
27 Bartkowiak. H., Hasse, B., et al., Ger. (East) DD 161. 239. 1985
28 Akad Wissenschaft DDR. Ger. (East) DD 268. 931. 1989
29 Baeseler. M., Seiffarth. K., et al. Ger (East) DD 269. 619. 1989
30 Riad, A., Monloungui. Z., Delmas, M., Gaset, A., Syn. Commun. 1989. 19. 3169
31 Andrade, J., Prescher, G Ger Offen 3. 544. 046. 1987
32 Balogh, A., Kukacka, L., et al., Czech, CS Pat. 238, 851, 1987
33 Kroft. W. M , US Pat., 3. 126. 356
34 Whcelock C. E., Canterino, P. J., US Pat. 3. 022. 322
35 王建华. 杜军. 重庆大学学报（自然科学版）. 1999, 22 (1), 5～112
36 唐斯萍. 李谦和. 尹笃林. 湖南师范大学自然科学学报. 2001, 24 (1), 42～44
37 车荣内. 魏荣宝. 梁娅等. 离子交换与吸附. 1995, 11 (1), 18～23
38 林丽英. 梁娅. 魏荣宝等. 离子交换与吸附. 1995, 11 (2), 157～161
39 徐满才 欧植泽 俞善信. 离子交换与吸附 2000, 16 (2), 162 166
40 欧植泽. 涂满才. 俞善信 离子交换与吸附. 2000, 16 (2), 167～170
41 Howk. B. W., Langkammerer. C. M., US Pat. 2. 579. 580

第五章　石油加工催化剂

第一节　概　　述

石油加工或石油炼制（俗称炼油）是把原油进行加工，制取各种石油产品的过程。所生产的产品主要包括汽油、煤油、柴油等各种燃料油，以及润滑油和石油化工原料等。典型的石油加工过程主要有：原油预处理、常减压蒸馏、催化裂化、催化重整、加氢裂化、加氢精制及润滑油的生产等。其中催化裂化、催化重整、加氢裂化及加氢精制过程也称为二次加工过程。在这些过程中催化剂被大量使用着，起着非常关键的作用。

一、催化裂化

原油经过减压蒸馏（一次加工）所得轻质油品（汽油、煤油、柴油等）的产率总计仅为10%～40%，其余为重质馏分和残渣油。如果不经过二次加工，它们只能作为润滑油原料或重质燃料油。但实际中对轻质油的需求量远大于重质油，我国目前对轻质燃料油、重质燃料油和润滑油三者需要的比例大到为20:6:1。另一方面直馏汽油的辛烷值较低，不能满足要求。所以必须对馏分油进行二次加工。催化裂化就是最重要的二次加工过程之一。它是在催化剂的作用下直接进行裂化、异构化、环化、芳构化等反应，使重质油轻质化，并提高汽油的辛烷值。催化裂化的原料可以是减压馏分油、焦化重馏分油、蜡膏、蜡下油以及渣油等。其产品主要是汽油、柴油、气体等，同时产生催化裂化油浆及焦炭。

催化裂化反应是在催化剂上进行的，一般反应温度450～500℃，压力0.1～0.2MPa左右。在裂化反应中，除生成气体和油品外，还生成焦炭沉积在催化剂表面上，在很短的时间内就会因为积炭而使催化剂活性大大下降。这时，就必须烧去催化剂上的积炭，使催化剂恢复活性，这一过程称为“再生”。另外，催化裂化是吸热反应，而再生反应是放热反应。为了维持一定的反应及再生温度，必须在反应时

向系统供热，而在再生时又要从系统中取出热量。所以，催化裂化装置必须周期性地进行反应和再生，同时又周期性地供热和取热。为了实现这一目的，催化裂化装置经历了固定床、移动床和流动床的阶段，现在炼厂中普遍采用的是提升管式反应装置。与此同时，催化剂也经历了活性白土、硅藻铝和分子筛的阶段，现在普遍使用的是分子筛催化剂。

催化剂在催化裂化中起着十分重要的作用。它不仅对处理能力、产品产率和产品质量起着主要影响作用，而且对生产成本也有重要影响。所用的催化剂主要为 X 型及 Y 型分子筛，特别是经各种改型处理的 Y 型分子筛应用得最为普遍。X 型和 Y 型分子筛同属于八面沸石类。其晶格结构相似，但硅铝比不同，X 型的为 2.0～3.0，而 Y 型的为 3.0～6.0，所以 Y 型分子筛热稳定性更好一些。

分子筛催化剂的活性很高，其活性是采用微反活性来表示的，其方法大致为：在微型反应器中装入 5g 欲测定的催化剂（新鲜催化剂须先经高温及水蒸气老化），以轻柴油为原料，在 460℃、空速 $16h^{-1}$ 条件下反应 70s，所得产物（＜204℃汽油＋气体＋焦炭）质量占总进料质量的百分数即为该催化剂的微反活性。另外，在生产过程中催化剂不断地在两器之间运动，磨损较为严重，采用磨损指数表示催化剂的磨损情况。其测定方法是：将一定量微球催化剂放入特定的仪器中，用高速气流冲击 4h 后，所生产的＜15μm 细粉的质量占试样中＞15μm 催化剂质量百分数即为磨损指数。

分子筛催化剂中只含 5%～15% 分子筛，其余是担体，而裂化反应是在分子筛上进行的，因此，对催化剂的含碳量要求较严。对硅酸铝催化剂，再生后含碳量只要求降至 0.5% 以下，而对分子筛催化剂则要求降至 0.2% 以下，最好能降至 0.05% 或更低。为此，要求再生器有较高的再生效率及较高的再生温度，从而也要求催化剂具有较好的水热稳定性。超稳分子筛催化剂就具有较好的水热稳定性。

为了提高炼厂经济效益，近年来各炼厂均进行掺炼渣油或完全以渣油为原料的催化裂化操作。以渣油为原料的催化裂化过程主要有两个困难：其一是渣油含较多的稠环芳烃和胶质、沥青质，裂化时焦炭产率较高；其二是渣油中含有较多的金属类杂质，它们污染催化剂，

引起催化剂活性、选择性降低。解决这些困难主要靠发展催化剂和工艺技术。在催化剂方面，研制新型抗金属污染、选择性高、稳定性好的催化剂以及金属钝化技术。在工艺方面，改善工艺条件和设备以减少焦炭产率，提高再生效率。

除了对分子筛催化剂本身的改进之外，分子筛催化剂与其他催化剂配合使用也得到了应用。例如使用 CO 助燃剂促进再生时 CO 完全燃烧以提高再生器反应床层温度，防止再生器稀相段发生 CO 二次燃烧。

二、催化重整

催化重整是以石脑油为原料，在一定的操作条件和催化剂的作用下，使原料烃类分子结构发生重新排列的过程。采用铂催化剂的通常叫铂重整，采用铂铼催化剂或多金属催化剂的通常叫铂铼重整或多金属重整。

在催化重整过程中，发生烷烃异构化、烷烃环化、环烷烃脱氢及加氢裂化等反应，这些反应都会使汽油的辛烷值提高。重整汽油的辛烷值（研究法）一般在 90 以上，而且烯烃含量少、安全性好，可作为车用汽油的高辛烷值组分，也可作为航空汽油基础油。重整的主要反应是脱氢形成芳烃的反应，所以在重整生成油中含有较多的苯、甲苯、二甲苯及其他芳烃。所以，催化重整也是生产芳烃的重要手段。此外，重整过程还产生大量的氢气，是炼厂中获得大量廉价氢气的重要来源，这些氢气可直接用于各种加氢过程中。所以催化重整有生产芳烃和生产汽油两个目的，二者的工艺是有所不同的。

以生产芳烃为目的的重整过程，切取 60～130℃ 的馏分作为原料。低于 60℃ 的馏分不可能转化为芳烃，应从原料中除去，以免影响生产能力。从生产芳烃角度看，原料的终馏点应切割到 145℃ 为宜，但 130～145℃ 馏分是生产航煤（航空煤油）的组分，所以为不影响航煤的生产，一般炼厂只取 60～130℃ 的馏分。重整后得到的重整生成油要进行芳烃抽提，再利用芳烃精馏过程，将苯、甲苯及 C_8 芳烃分离出来。

在以生产高辛烷值汽油为目的时，要切取 80～180℃ 的馏分作为重整原料。低于 80℃ 的 C_6 烃特别是 C_6 环烷烃辛烷值很高，它经重整

成芳烃后，辛烷值反而降低。而且沸点过低的馏分易裂解成气体，减少汽油产量。烷烃、环烷烃转化为芳烃后沸点会升高，若原料终馏点高于180℃，则重整汽油的终馏点会超过汽油标准中的205℃，会引起汽油在气缸中结焦及效率下降。生产汽油的重整装置，不需要芳烃抽提过程，但需要设置稳定塔，把重整生成油中C_5以下的烃类脱除掉。

除了预分馏外，催化重整装置中还必须设置预脱砷和预加氢过程，以除去重整原料中的杂质　因为极微量的杂质就可能会使重整催化剂中毒而失去活性。在所有毒物中，砷是最应该引起注意的。催化剂与极微量的砷接触就会发生永久中毒而完全失去活性。此外，也要除去各种含硫、氮、氧的杂质。

重整催化剂含有金属和酸性双重组分，因而极易积炭，虽然在临氢的条件下操作，也会在较短时间内失去活性。根据催化剂再生方式不同，重整装置主要分成下述三种类型。

(1) 半再生式重整　这种形式的重整装置采用固定床串联反应器，在反应一定时间后（一般6个月）需要停工再生。

(2) 循环再生式重整　它与半再生式装置的区别是增加了一个反应器及旁路系统，这就允许催化剂在一个反应器中再生，而不需在其他反应器中进行反应。

(3) 连续重整　采用移动床式反应器，催化剂连续地通过反应器，并连续地送至再生器中再生。

三、催化加氢

催化加氢指在催化剂存在下，把氢加成到石油馏分上，使其产生性质的变化。按生产目的可分为：加氢精制、临氢降凝、加氢裂化等。催化加氢对于提高原油加工深度，改善产品质量，合理利用石油资源，提高油品产率等都具有重要意义。

加氢精制主要用于除去各种油品中的杂质，如含硫、氮、氧及金属等，改善油品的使用性能。该过程是在氢气存在下使油品中的有机含硫、氮、氧化合物及金属有机化合物发生氢解，使硫、氮、氧分别变为硫化氢、氨和水而除去，金属组分则沉积在加氢催化剂上除去。加氢精制的原料有重整原料、汽油、煤油、各种中间馏分、润滑

4s。再生催化剂含碳量要求<0.5%。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂，兰州炼油化工总厂催化剂厂等。

05202 **低铝分子筛催化裂化催化剂** low-aluminium molecular sieve catalytic cracking catalyst

简要说明 具有中等的催化裂化活性，可用于以蜡油或焦化蜡油等为原料的提升管反应器中，用于生产汽油、煤油、柴油等轻质油品。也可与无定型硅铝催化剂掺混使用，用于硫化床反应器中，这样可比单用无定型硅铝催化剂提高汽油收率2%～3%。产品型号有 LWC-23、CDY-1 及 Y-9 三种。

基本配方

由 5%～15%的稀土 Y 型分子筛与担体组成。

	型 号		
化学组成/%(质量)	LWC-23	CDY-1	Y-9
Al_2O_3	13.0	13.5	14
Na_2O	0.12	0.13	0.07
SO_4^{2-}	0.65	0.5	0.5
Fe_2O_3	0.07	0.07	0.10
灼烧碱量	14.0	13.5	13.5

性状

催化剂为 ϕ20～ϕ100μm 的微球的物理性能为：

	型 号		
物理性能	LWC-23	CDY-1	Y-9
比表面积/(m^2/g)	650	600	650
孔容/(cm^3/g)	0.6	0.59	0.58
磨损指数/%(质量)	2.9	2.4	2.2
微反活性①/%	62	60	60

① 微反活性测定：反应温度 460℃，催化剂 5.0g，进油量 1.56g，空速 16h^{-1}，反应时间 70s。其中 LWC-23 为 790℃，蒸汽老化 4h，其余均为 800℃，蒸汽老化 4h。

制法 将经共沉淀制得的硅酸铝担体与稀土型分子筛浆液混合，经喷雾、干燥、成型等步骤制得催化剂。

使用条件 反应温度为500℃，反应压力约为0.2MPa，反应时间2～4s。积炭失活的催化剂可以再生，再生催化剂含碳量要求<0.2%。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂，齐鲁石化公司催化剂厂、兰州炼油化工总厂催化剂厂等。

05203 **高铝分子筛催化裂化催化剂** high-aluminium molecular sieve catalytic cracking catalyst

简要说明 具有较好的催化裂化活性，主要用于提升管反应器的催化裂化装置中。产品型号有LWC-33、LWC-34、CGY-1、CGY-2及Y-4等。

基本配方

	型号				
化学组成/%（质量）	LWC-33	LWC-34	CGY-1	CGY-2	Y-4
Al_2O_3	24	25.9	27	26.7	24.2
Na_2O	0.15	0.1	0.18	0.19	0.19
SO_4^{2-}	1.5	1.4	1.73	2.1	1.30
Fe_2O_3	0.08	0.06	0.17	0.11	0.09
灼烧减量	14.0	14.0	13.3	14.4	14.5

性状

催化剂为ϕ20～ϕ100μm的微球的物理性能为：

	型号				
物理性能	LWC-33	LWC-34	CGY-1	CGY-2	Y-4
比表面积/(m^2/g)	590	550	440	400	590
孔容/(cm^3/g)	0.7	0.66	0.65	0.61	0.57
磨损指数/%(质量)	4.0	3.3	4.2	3.8	2.8
微反活性[①]/%	74	65	74	62	71

① 微反活性测定：反应温度800℃，蒸汽老化4h。

制法 将硅原料和铝原料分别制成硅胶和铝胶，而后混合打浆，再经喷雾、干燥、成型等步骤，制得催化剂。

使用条件 反应温度为500℃，反应压力约为0.07～0.27MPa，反应时间2～4s。积炭失活的催化剂可以再生，再生催化剂含碳量要求<0.2%。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂，齐鲁石化公司催化剂厂、兰

州炼油化工总厂催化剂厂等。

05204 LC-8型裂化催化剂 catalytic cracking catalyst LC-8

简要说明 LC-8催化剂是一种胶粘剂型REHY催化剂。裂化催化剂经历了从REY到REHY、USY、REUSY等的过程。REY催化剂活性好，但焦炭产率也高，不适应重油催化裂化对催化剂的要求。USY、REUSY等超稳Y型分子筛具有焦炭选择性好及汽油辛烷值高的特点，是很好的渣油裂化催化剂，但国内的许多催化裂化装置不能满足其操作特性要求（如要求高剂油比操作）。REHY的性能介于REY与超稳Y型催化剂之间，它有较高的活性和较好的选择性，既能满足掺炼渣油的需要，又能满足国内大多数催化裂化装置的操作要求。

LC-8催化剂对REHY采用磷改性技术，改善了其热稳定性及水热稳定性。为了兼顾催化剂的活性和选择性，一方面降低RE_2O_3的含量，改善焦炭选择性，另一方面提高催化剂中分子筛含量以弥补RE_2O_3含量降低对催化剂活性的影响。所以，LC-8催化剂具有较强的重油转化能力、较高的汽油收率和较好的焦炭选择性，是优良的重质油加工用催化剂，可用于掺炼渣油的催化裂化中。

基本配方 以磷改性REHY为活性组分，以铝溶胶为胶粘剂，以高岭土作为载体。化学组成为：$Al_2O_3$43.9%，Na_2O0.54%，$RE_2O_3$3.0%，$Fe_2O_3$0.42%，适量磷，余量SiO_2。分子筛含量15%。

性状 堆积密度690kg/m^3，比表面250m^2/g，孔容0.114cm^3/g，磨损指数1.3%，微反活性80.0%（800℃、100%水蒸气老化4h，直馏柴油）。小型提升管反应器评价结果：转化率76.8%，汽油产率51.0%，柴油产率13.6%，油浆9.6%，焦炭5.0%，液化气15.4%，干气1.9%；评价条件：反应温度500℃，剂油比4～6，再生温度670～685℃；原料：75%新疆减压馏分油+25%新疆减压渣油。

制法 将铝溶胶、高岭土、分子筛按一定比例和条件混合，充分搅拌后，喷雾、干燥、固化、水洗得到产品。

使用条件 反应温度500℃，剂油比4～6，再生温度650～685℃。

生产厂家 兰州炼油化工总厂研究院。

05205 **超稳Y型分子筛催化裂化催化剂** superstable Y-type zeolite molecular sieve cracking catalyst

简要说明 在制备时脱除了结构中的部分铝原子，提高了硅铝比，并进行了热处理以稳定结构。所以本产品具有水热稳定性好、抗污染性好等特点，可用于渣油的催化裂化或渣油和其他馏分油混合作原料的催化裂化中。产品型号有：ZCM-5及ZCM-7。

基本配方

	型号	
化学组成/%(质量)	ZCM-5	ZCM-7
Al_2O_3	44.5～46.3	44.1～45.2
Na_2O	0.19	0.26
Fe_2O_3	0.54	0.41
灼烧碱量	12.8	12.9

性状

催化剂为 $\phi20\sim\phi100\mu m$ 的微球的物理性能为：

	型号	
物理性能	ZCM-5	ZCM-7
比表面积/(m^2/g)	187	204
孔容/(cm^3/g)	0.30	0.60
磨损指数/%	1.4	2.3
微反活性①/%	76	76

① 水蒸气处理条件：820℃，20%，12h。

制法 分别将原料配制成硅胶和铝胶，然后混合打浆，并经其他制备步骤后，经喷雾、干燥、成型制得催化剂。

使用条件 反应温度约为500℃，反应压力约0.2MPa。

生产厂家 齐鲁石化公司催化剂厂、兰州炼油化工总厂催化剂厂等。

05206 **半合成分子筛催化裂化催化剂** semisynthetic molecular sieve catalytic cracking catalyst

简要说明 具有较高的活性和选择性。本产品的最大特点是具有高强度、低比表面，因而再生性能好，且具有抗污染性。适用于提升管式

催化裂化装置，也可与其他催化剂混合使用。可用于渣油的催化裂化中。产品型号有：CRC-1 及 Y-7。

基本配方

	型号	
化学组成/%(质量)	CRC-1	Y-7
Al_2O_3	50	51
Na_2O	0.08	0.08
SO_4^{2-}	--	
Fe_2O_3	0.75	0.8
灼烧碱量	3.4	13.0

性状 催化剂为 $\phi20-\phi100\mu m$ 的微球的物理性能为：

	型号	
物理性能	CRC-1	Y-7
比表面积/(m^2/g)	225	170
孔容/(cm^3/g)	0.24	0.23
磨损指数/%(质量)	2.0	1.5
微反活性①/%	76	70

① 微反活性测定：反应温度 800℃，蒸汽老化 4h。

制法 将高岭土、拟薄水铝石等原料混合打浆，经成胶、老化过程后，与稀土 Y 型分子筛浆液混合，而后经喷雾、干燥、成型等步骤，制得催化剂。

使用条件 反应温度约为 500℃，反应压力约 0.2MPa，反应时间 3s。

生产厂家 齐鲁石化公司催化剂厂等。

05207 全白土型裂化催化剂 LB-1 kaolinic FCC catalyst LB-1

简要说明 随着世界原油重质化和劣质化，在催化裂化过程中掺炼重油、渣油已成为炼厂普遍采用的加工方式。由于重质油中含较多的胶质、沥青质和重金属，这就要求裂化催化剂具有较高的基质活性，较强的抗重金属污染能力，较好的催化活性和选择性。全白土型裂化催化剂是用高岭土原位晶化法制备的，在高温煅烧微球水热晶化时，高岭土中的部分 SiO_2 进入液相，在微球表面上产生出 Y 型分子筛。这种原位晶化 Y 型分子筛晶粒小、外表面大，并且与高岭土煅烧时产生的高铝基质之间有化学结合，增加了催化剂对重质油大分子的裂化活性。晶化产物经处理使稀土沉积在分子筛骨架外的基质上，这些沉

积稀土有效地保护了分子筛免受重金属的影响。所以，全白土型催化剂有很好的裂化活性，并有抗重金属污染的能力。

LB-1 型全白土型催化剂主要用于重质油（渣油或掺炼渣油）为原料的催化裂化过程中，具有高活性、水热稳定性好及抗污染性好等特点。

基本配方　以高岭土为原料加工而成。化学组成为：$Al_2O_3$49.5%（质量）、Na_2O0.4%（质量）、$RE_2O_3$5.0%（质量）、其余为 SiO_2。

性状　外观为白黄色、直径为 20～100μm 的微球，堆积密度 1020kg/m³，比表面 306m²/g，孔容 0.28cm³/g，催化剂的筛分组成为：<40μm，22%（质量），40～80μm，约 60%（质量），>80μm，<18%（质量）。微反活性 68%（质量）（经 800℃、100%水蒸气处理 17h）。

制法　将高岭土制备成微球，经煅烧后进行水热晶化，而后经后处理过程将稀土金属引入到催化剂上，再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件　反应温度约为 500℃，反应压力约 0.2MPa，剂油比 4～6。

生产厂家　齐鲁石化公司催化剂厂、兰州炼油化工总厂催化剂厂等。

05208　**全白土型裂化催化剂**　LB-2　kaolinic FCC catalyst LB-2

简要说明　全白土催化剂 LB-1 在重质油的催化裂化上得到了广泛的应用。随着对无铅汽油需求量的增加，对高辛烷值催化剂的要求日趋迫切。针对 LB-1 催化剂稀土含量较高，而汽油辛烷值较低和焦炭产率较高的问题，开发出了全白土稀土分子筛催化剂 LB-2。LB-2 催化剂在保持 LB-1 催化剂所有优点的基础上，通过调整催化剂中的稀土含量，降低催化剂的生焦量，提高了催化剂汽油辛烷值，并通过提高分子筛含量保持全白土催化剂的高活性优势。其制备的关键是在较小的液体/微球固体比的晶化体系中，得到分子筛含量高的催化剂。

LB-2 是一种抗金属污染能力强、活性高、焦炭选择性好、汽油辛烷值高的裂化催化剂，适用于重质油的催化裂化过程中。

基本配方　以高岭土为原料制成。化学组成为：$Al_2O_3$44.6%、Na_2O0.42%、$RE_2O_3$3.4%，其余为 SiO_2。

性状 外观为 $\phi20 \sim \phi100\mu m$ 的微球；粒度分布为 0～45.8μm≥25%，45.8～111μm≥55%；堆积密度 850kg/m^3，比表面 370m^2/g，孔容 0.35cm^3/g，磨损率 1.6%·h^{-1}，微反活性 63%（800℃、100%水蒸气处理 17h）。

抗金属性能评价：

原料为 20%新疆减压渣油和 80%新疆减压蜡馏分油混合，人工污染 5000μg/g 的 V 和 3000μg/g 的 Ni，经 800℃、100%水蒸气老化 4h 后，在小型提升管反应器上，在反应温度 505℃、剂油比 5.5、再生温度 608℃条件下进行评价。

评价结果为：干气 1.8%，液化气 21.2%，汽油 43.8%，柴油 16.9%，油浆 10.2%，焦炭 6.2%，转化率 73.0%，汽油选择性 0.600，焦炭选择性 0.085。

制法 将原料高岭土制备成微球，经煅烧使高岭石转化出具有化学活性的 SiO_2 和 Al_2O_3，选用适宜的煅烧温度并选择合适的晶化投料比，进行水热晶化，得到 NaY 达 30%左右的晶化产物，再经后处理过程引入适宜量的稀土金属对催化剂进行改性，最后经干燥、煅烧得到成品催化剂。

使用条件 反应温度约为 500℃，再生温度 650～680℃，剂油比 4～6。

生产厂家 兰州炼油化工总厂催化剂厂。

05209 **高辛烷值裂化催化剂 DOCP-L** octane enhancement FCC catalyst DOCP-L

简要说明 DOCP-L 是由石油化工科学研究院与长岭石油化工总厂催化剂厂共同开发的，适用于剂油比较大的重油催化裂化装置。DOCP-L 以含磷的骨架富硅分子筛 PSRY 为活性组元，并添加少量高活性、高稳定性的择型分子筛 ZRP-5。ZRP-5 分子筛的硅铝比大于 200，晶内含磷，活性、稳定性优良，异构化能力强，在增加汽油中的烯烃、芳烃和辛烷值的同时，可以降低轻质油的损失。这种通过骨架富硅处理的分子筛，可以有效地抑制氢转移反应，提高催化剂的重油转化能力，改善焦炭选择性。

DOCP-L 催化剂通常掺入到其他裂化催化剂中，用于提高催化裂

催化裂化过程。由于渣油残炭高、各种金属含量也高，会很快使催化剂积炭、中毒失去活性。随着反应程度加深，中间产物还会继续反应下去，使焦炭和气体产率增大。因此，多产中间馏分油的渣油裂化催化剂既要有较高的重油大分子裂化能力，又要有抑制二次反应的能力。MLC-500 型催化剂采取的主要措施是（1）以超稳 Y 型分子筛作为活性组分，但对有促进小分子裂化作用的强酸活性中心进行调变，以抑制强酸中心、制备出拥有大量弱酸中心的超稳 Y 型分子筛。（2）以白土为载体，通过一定的改性工艺，使白土具有适宜的酸性，并对载体的孔大小和分布进行控制，得到大孔较多的载体。通过改善分子筛的酸性和载体的孔分布，使 MLC-500 型催化剂具有很高的重油转化能力及中间馏分油的选择性。

基本配方　以经过一定改性处理得到的超稳 Y 型分子筛作为活性组分，以改性白土作为载体。

性状　载体性能：比表面 $93m^2/g$；孔分布　<5nm　7.9%，5～20nm　43.5%，>20nm　48.7%；　酸性 0.94mmol/g，微反活性38%。

MLC-500 工业评价结果：转化率 62.12%，轻油收率 64.57%，总液体收率 76.05%，汽油 33.37%，焦炭 11.80%，柴汽比 0.93。

评价条件：原料油为常压重油、减压渣油及蜡油的混合油，折合为 100%常压重油，原料油相对密度 0.9041，残炭 6.7%，碱性氮含量 1500μg/g，钙含量 20μg/g，处理量 1042.90t/d。

制法　载体制备：将白土经活化、过滤、洗涤、干燥等一系列水热过程处理，得到改性白土。将改性白土与经过酸性改性的超稳 Y 型分子筛经打浆、洗涤、干燥等处理过程制得成品催化剂。

使用条件　反应温度 500℃左右，剂油比 2～6。

生产厂家　齐鲁石化公司催化剂厂。

05213　抗钒催化裂化催化剂　vanadium-tolerant FCC catalyst

简要说明　抗钒催化裂化催化剂有 CHV-1 和 LV-23 两种型号。钒对裂化催化剂的影响主要是破坏催化剂中分子筛的结构，使催化剂的活性发生大幅度下降。即使增加催化剂的消耗，平衡剂的活性仍难达到

所要求的水平。CHV-1 型催化剂采用 SRY 分子筛和 RPSA 分子筛作为活性组分，以酸强度低的大孔氧化铝为胶粘剂，以高岭土作为载体中的填料，并添加富铈稀土氧化物作为钒的捕集剂。SRY 为骨架富硅分子筛，它的非骨架铝含量很少，焦炭选择性高。RPSA 为 MFI 型分子筛，它的硅铝比较高，中孔丰富，它可选择性地裂化汽油和柴油馏分中的直链烃，以增加液化气和丙烯的产率。LV-23 型催化剂采用 USY 分子筛作为活性组分，以氧化铝作为基质中的固钒组分，稀土氧化物作为沸石抗钒组分。

适用于高含钒油及渣油的催化裂化过程，对多产液化气方案可选用 CHV-1 催化剂，对于多产汽油方案可选用 LV-23 催化剂。

基本配方 CHV-1 型：活性组分为 SRY 和 RPSA 分子筛，特制的氧化铝为胶粘剂，化学组成为/%（质量）：Al_2O_3 47.8，RE_2O_3 2.8，Na_2O 0.18。

LV-23 型：活性组分为 USY 分子筛，以氧化铝为胶粘剂，稀土氧化物为抗钒组分。化学组成为/%（质量）：Al_2O_3 51.0，RE_2O_3 1.8，Na_2O 0.18。

性状 CHV-1 型：比表面 260m^2/g，孔容 0.20cm^3/g，堆积密度 730kg/m^3，微反活性 67%。

LV-23 型：比表面 252m^2/g，孔容 0.36cm^3/g，堆积密度 750kg/m^3，微反活性 68%。

评价结果（反应温度 515℃，剂油比 8.6，催化剂含钒 4100μg/g，小型提升管反应装置）：

项目	CHV-1	LV-23
转化率/%（质量）	73.41	75.22
轻质油收率/%（质量）	64.95	67.74
干气选择性/%	3.01	2.38
液化气选择性/%	18.76	15.93
汽油选择性/%	56.75	60.68
焦炭选择性/%	12.46	11.58
焦炭/%（质量）	9.15	8.71

制法 将各种分子筛组分及基质、抗钒组分（稀土氧化物）及胶粘剂等一起打浆，再经洗涤、干燥等过程制得成品催化剂。

裂化装置。

制法 采用水热晶化法合成。按一定配比配好料，在一定条件下进行水热晶化，晶化一定时间后，进行洗涤、过滤和干燥，得到成品原粉。

使用条件 用于催化裂化时，温度约500℃，剂油比2～6。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂。

05215 **骨架富硅分子筛SRY** SRY zeolite with rich silicon in framewark

简要说明 重油催化裂化要求催化剂焦炭选择性好、重油裂化能力强。裂化催化剂质量好坏，不仅决定于分子筛晶胞常数的大小，而且分子筛中非骨架铝（EFA）的多少，也直接影响催化裂化活性，特别是催化剂的焦炭选择性。通常重油催化裂化催化剂采用水热法制备的USY分子筛作为催化剂的活性组分，但USY分子筛经水热焙烧后，产生大量骨架空穴和非骨架铝，而使USY分子筛催化剂结构稳定性变差，非选择性裂化产物较多，焦炭选择性也较差。采用抽铝补硅的方法制备的骨架富硅分子筛，则非骨架铝少，骨架富硅。因此，具有良好的结构稳定性及焦炭选择性。

SRY分子筛是将Y型分子筛经抽铝补硅制得的骨架富硅分子筛，主要用于制备渣油或掺炼渣油的催化裂化催化剂，具有水热稳定性高和焦炭选择性好的特点。

基本配方 化学组成为Al_2O_3 18.5%，Na_2O 0.90%，其余为SiO_2。

性状 晶胞常数a_0=2.452nm，单位晶胞非骨架铝含量6.3个，空穴因子（Z）0.085，结晶保留度95.0%，补硅率55.3%，硅铝比（表面）4.55，硅铝比（体相）4.1，比表面690m^2/g，孔容0.375cm^3/g。

水热稳定性 结构崩塌度（DTA）1029℃；经800℃、100%水蒸气处理4h后，a_0=2.428nm，结晶保留度72.4%。

催化活性：按一定比例将SRY与载体一起制成裂化催化剂，在小型固定硫化床装置上的评价结果为转化率73.3%，汽油收率47.35%，轻质油收率65.57%，焦炭转化率8.2%，动态活性0.46。

评价条件：反应温度 500℃，剂油比 4.0，质量空速 20h $^{-1}$，催化剂装量 150g，原料油为管输蜡油掺 25%减压渣油。

制法 以 NaY 型分子筛为原料，经过铵交换、水热焙烧、液相复合酸抽铝补硅等过程制备而成。

使用条件 用于催化裂化时：反应温度约 500℃左右，剂油比 2～6。

生产厂家 石油化工科学研究院。

05216 CIP-1 型裂解催化剂 cracking catalyst CIP-1

简要说明 CIP-1 型催化剂适用于催化裂解Ⅱ型（DCC-Ⅱ）反应，其目的是在生产高辛烷值汽油和丙烯的同时，兼顾异丁烯和异戊烯的生产。CIP-1 是一种高活性裂解催化剂，可弥补由于提升管短、反应时间少所致的裂解深度不足。为了提高低碳烯烃的产率及催化剂的性能，采取了如下措施。

（1）采用硅铝比高的分子筛为活性组分，以控制氢转移反应的发生。

（2）采用水热稳定性好的分子筛组分。催化裂解的反应条件苛刻，反应温度高、注水量大、剂油比高，所以要求有较好的水热稳定性。

（3）采用多组分分子筛相结合，优化各组分间配合，使各组分的作用协调进行，催化剂的高活性与低氢转移反应活性达到最佳的统一。

基本配方 由多种分子筛组成，其化学组成为：Al_2O_3 52.0%（质量），Fe_2O_3 0.40%（质量），Na_2O 0.085%（质量）。

性状 堆积密度 800kg/m^3，比表面 210m^2/g，孔容 0.30cm^3/g，磨损率 1.6%（质量）h $^{-1}$，微反活性 62%（反应温度 460℃，催化剂预处理条件 800℃，4h，100%水蒸气）。

工业标定结果，产品产率/%（质量）：汽油 40.98，丙烯 12.52，异丁烯 4.57，异戊烯 5.78；汽油辛烷值（RON）95.8。

标定条件：反应温度 505℃，再生温度 684℃，反应压力 120kPa，再生压力 125kPa，反应时间 3.40s，回炼比 0.13，剂油比 6.6，注水量 8.6%（质量）。

原料性质：密度(20℃)0.8983g/cm^3，凝点 45.7℃，残炭 0.62。

制法 将各种分子筛组分及基质一起打浆，然后进行成胶、经喷雾、干燥后进行二次洗涤，再经气流干燥得到成品催化剂。

使用条件 反应温度 510～550℃，再生温度 680～705℃，反应压力 120kPa，再生压力 125kPa，回炼比 0.07～0.13，剂油比 6.6～7.8，注水量 8.6%～10.4%（质量）。

用于 DCC-Ⅱ工艺的全提升管式反应器中。

生产厂家 石油化工科学研究院。

05217 **CA 系列多产液化气裂化助剂** CA series FCC promoter for producing more LPG

简要说明 随着炼厂向炼油化工方向发展，对石油化工原料的需求日益增加，多产液化气（特别是 C_3、C_4 烯烃）对炼厂常具有很重要的意义。CA 系列多产液化气裂化助剂是以石油化工科学研究院开发的稀土磷硅铝（RPSA）分子筛作为择形活性组分，配以其他超稳分子筛（如 REUSY、SRNY、SRY 等）和合适的载体制成。RPSA 分子筛的硅铝比可调范围宽，从摩尔比 30 到大于 100 均可制备，可根据用户对产品分布的期望确定。与 RPSA 配伍的载体分子筛，可根据用户所使用的主体催化剂的理化特点进行选择设计，其用量可根据用户对产品分布的期望确定，所以，CA 系列助剂的设计可以根据用户的装置特点、原料性质、所使用的主体催化剂的性质及对产品分布的期望进行配方设计。并且，所生产的催化剂可根据用户的操作习惯和要求，既可以生产随其主体剂添加的助剂，也可生产多产液化气的专用催化剂。

基本配方 以 RPSA 分子筛为主要活性组分，其他分子筛的种类及数量视实际要求确定。化学组成为：Al_2O_3 25%～50.0%（质量），Na_2O ≯0.25%（质量）。CA-1 中 RPSA 的含量为 10%。

性状 表观堆积密度 500～800kg/m^3；比表面，新鲜 150～480m^2/g，老化（800℃/4h，100%水蒸气）115～200m^2/g；孔容，新鲜 0.15～0.40cm^3/g，老化 0.15～0.30cm^3/g；磨损指数≯3.5（质量）；微反活性 60%～80%（800℃/4h，100%水蒸气）。

工业标定结果（CA-1 型）：当 CA-1 加入量占系统总藏量的 10%

时，空白标定（不加 CA-1）相比，液化气增加 5.04%，轻烃加液化气总收率保持不变；汽油辛烷值（RON）增加 2.2，诱导期增加 50min；液化气中丙烯含量增加了 2.24%。

制法 将 RPSA 分子筛与其他载体分子筛按一定比例混合、打浆，再经洗涤、干燥等过程制得成品催化剂。

使用条件 CA 助剂加入量一般占系统藏量的 10% 左右，反应温度 500℃左右，剂油比 4～6。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂。

05218 一氧化碳助燃剂 carbon monoxide combustion promoters

简要说明 本产品用于使再生烟气中的 CO 转变为 CO_2，从而回收热量，减少 CO 对大气的污染，避免二次燃烧及降低催化剂的含碳量。使用本产品可使再生烟气中的 CO 含量接近于零，再生剂上含碳量比不用本产品能耗低 50% 左右，轻质油收率可相应提高约 2%～3%，焦炭产率降低约 0.5%以上。本产品筛分接近于裂化催化剂，流化性能好，易与裂化催化剂混合均匀，有利于助燃性能的发挥。

基本配方

以 γ-Al_2O_3 或硅酸铝为载体，担载少量贵金属作为活性组分。

	型号				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
活性组分含量	基准	5 倍基准	10 倍基准	5 倍基准	5 倍基准
载体	γ-Al_2O_3	γ-Al_2O_3	γ-Al_2O_3	γ-Al_2O_3	SiO_2-Al_2O_3
化学组成/%(质量)：					
Al_2O_3	>98	>98	>98	>98	>58
Na_2O	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.08
SiO_2	—	—	—	—	>38

性状

	型号				
	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
比表面/(m^2/g)	30～50	30～50	30～50	30～50	70～100
孔体积/(cm^3/g)	0.2～0.3	0.2～0.3	0.2～0.3	0.2～0.3	0.2～0.3
堆积密度/(g/m^3)	1～1.2	1～1.2	1～1.2	1～1.2	0.8～1.0
CO 氧化活性①	50～60	50～60	50～60	50～60	50～60

① CO 氧化活性为添加助燃剂后气体中 CO_2/CO 的值。

制法 采用浸渍法制备，将特制的 γ-Al_2O_3 浸渍到含活性组分的溶液中，再经干燥、煅烧等步骤制得成品。

使用条件 温度约 650℃，压力约 0.2MPa，线速度约 0.8m/s。

生产厂家 沈阳市东方石油化工助剂厂、吉林公主岭催化剂厂、九江石化怀柔精细化工厂等。

05219 **一氧化碳助燃剂**（RH 系列） carbon monoxide combustion promoters（RH serious）

简要说明 本产品用于使再生烟气中的 CO 转变为 CO_2。本产品的特点是活性大、机械强度高、耐磨能力强。其催化活性（以 CO 相对氧化率表示）≥90%、稳定性（800℃/4h，100%水蒸气）≥50%，机械强度（以磨损指数表示）≤2.0%/h。

基本配方 以特制的 γ-Al_2O_3 为载体，担载少量贵金属活性组分制得。

性状 催化剂为白色微球状。

筛分组成/%	RH-501	RH-502	RH-503
>80μm	≥25	≥25	≥25
40～80μm	≥50	≥50	≥50
<40μm	≥25	≥25	≥25
物理性能			
堆密度/(kg/m³)	700～1000	700～1000	700～1000
孔容/(cm³/g)	0.15～0.30	0.15～0.30	0.15～0.30
比表面/(m²/g)	70～150	70～150	70～150
磨损指数/(%/h)	<2.0	<2.0	<2.0

制法 采用浸渍法制备，将特制的 γ-Al_2O_3 浸渍到含活性组分的溶液中，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 温度约 660℃，压力约 0.2MPa，线速度约 0.8m/s。

生产厂家 北京石油化工科学研究院。

05220 **金属钝化剂** metal passivator

简要说明 随着原油加工深度不断提高，催化裂化原料不断变重、变劣。由于原料中重金属含量增加，使催化剂发生污染，轻质油收率降

低，干气、焦炭产率升高，使装置的经济效益下降。在催化裂化过程中加入金属钝化剂就可有效地钝化金属对催化剂的影响，提高催化剂抗金属污染的能力。

本剂型号为 YXM-92 型，它属于水基锑型金属钝化剂，无异味、与水互溶、便于清扫和使用；它凝点低，粘度小，不受季节限制；无腐蚀性，可不加稀释剂单独使用。

基本配方　是锑基金属钝化剂，以锑为主要活性组分，锑含量 17.8%（质量）。

性状　外观为乳白色液体，密度（20℃）1.352g/cm^3，粘度（40℃）9.88mm^2/s，凝点＜－30℃，腐蚀（铜片，50℃，3h）16，分解温度 224℃，溶于水，无味。

使用性能：使用钝化剂后微反活性提高 1～3 单位，轻油收率提高 1.51%，焦炭减少 0.07%，油浆减少 1.56%。

评价条件：反应温度 505℃，反应压力 0.156MPa，再生温度 697℃，再生压力 0.182MPa，原料预热温度 246℃，回炼比 0.58；原料辽河减压蜡油及丙烷脱沥青油，原料金属含量（$\times 10^{-6}$）：Fe 10.9，Ni 1.14，Cu 0.7，V 0.6，Na 1.7。

制法　将锑的有机化合物及其他组分一起，按比例混合、调配而成。

使用条件　催化裂化反应温度约 500℃，反应压力约 0.15MPa，剂油比 4～6。将本剂用泵直接送至原料油提升管入口处与原料油混合。应注意：虽然本剂原液无毒无味，但在注入系统后于反应器中分解，会释放出有毒组分，所以在装置停工检修之前 1～2 个月最好停注本剂，以免检修时造成人员中毒。

生产厂家　江苏宜兴炼油助剂厂。

05221　**锑锡复合金属钝化剂**　Sb-Sn composite metal passivator

简要说明　YXN-9601 型锑锡复合金属钝化剂是针对炼厂使用的高镍低钒原油开发生产的，通过锑及锡与催化剂上的污染金属的相互作用，改变污染金属的化学性质，提高催化剂抗金属污染的能力。本剂利用锑和锡的配合可同时抵消镍和钒金属对催化剂的影响，起到锑和

锡钝化剂的双重作用，兼具锑和锡钝化剂各自的性能特点。在催化裂化中使用可增加汽油、柴油产率，降低干气、焦炭和重油产率，提高轻质油收率。YXN-9601 型双金属钝化剂属水溶性钝化剂，可用水稀释后使用。

基本配方 由含锑、锡的化合物制成，锑含量 14.10%，锡含量 3.9%。

性状 外观为乳白至微黄色液体，密度 1.34～1.42g/cm^3，运动粘度（20℃）2.68mm^2/s，凝点 -5～-10℃，pH 值 4.29，热分解温度 252℃，与水互溶。

使用性能：使用钝化剂后微反活性由 64%升至 65%～69%，升高 1～5 个百分点；干气中氢气体积含量由 38%下降至 30%左右，下降 8%；干气中 H_2/CH_4 体积比由 0.9 左右下降至 0.7 左右，最低时达到 0.65；产品质量无变化，但液化气中丙烯含量有所上升（由 4.17%上升至 4.25%）。

评价条件：反应温度 503～508℃，进料预热温度 180～186℃，一再密相675～683℃，二再密相 732～735℃。

原料：多种减压渣油与减压蜡油的混合油，掺炼渣油量折合成常渣约 80%；原料残炭 3.10%，含 Fe 5.0×10^{-6}，Ni 1.2×10^{-6}，Cu 0.2×10^{-6}，V 0.2×10^{-6}，Na 17.2×10^{-6}，总氮 1169×10^{-6}。

制法 将含锑和锡的化合物及其他组分一起，按比例混合、调配而成。

使用条件 用法：将钝化剂用水均匀稀释至 25%，然后用计量泵将钝化剂溶液注入到原料油进提升管喷嘴前的管线中，加注方式为连续均匀加入。

催化裂化条件：反应温度 500℃左右，反应压力约 0.15MPa，剂油比 4～6。

生产厂家 江苏宜兴新街助剂厂。

第三节 重整催化剂

05301 **重整催化剂**（系列产品） reforming catalysts（series）

简要说明 适用于催化重整装置。本产品分成多种型号，其中 3701 为单铂催化剂，3741 及 3741-Ⅱ为铂铼催化剂，3752 为铂

铱催化剂，CB-5 及 CB-6 为铂铼催化剂。本产品主要由金属组分、酸性组分及载体组成。其中金属组分是催化剂的核心，金属组分中主要是铂，它起着脱氢和芳构化作用。添加金属铼后，可提高活性、稳定性，降低铂晶粒生长速度。铂铱催化剂有较好的烷烃环化脱氢性能，抗硫性也较强，但铱本身氢解性能较强，选择性较差。一般地说，双金属催化剂比单铂催化剂在催化性能方面，特别是稳定性有显著提高。酸性组分主要是添加氯或氟等卤素成分，它可以促进氧化铝载体的酸性功能，增加催化剂的异构化作用。载体主要为 γ 型或 η 型氧化铝。其中 γ 型的不如 η 型的氧化铝酸性功能强，但热稳定性却好得多。本产品主要用于固定床半再生式反应器中，用于生产芳烃或高辛烷值汽油。

基本配方

型号	3701	3741	3741-Ⅱ	3752	CB-5	CB-6
Pt/%(质量)	0.52	0.52	0.36	0.60	0.47	0.28
其他组分/%(质量)	—	Re0.32	Re0.55	Ir0.1	Re0.30	Re0.25
Cl/%(质量)	1.0	0.68	1.6	1.5	1.4	1.0～1.4
HF/%(质量)	0.31	0.28	—	—	—	—
Al_2O_3 载体晶相	η	η	γ	η	γ	γ

性状 催化剂为 ϕ1.5～3mm 乳黄色小球状。物理性能如下。

型号	3701	3741	3741-Ⅱ	3752	CB-5	CB-6
堆积密度/(kg/m^3)	800	780	810	760	810	570
比表面/(m^2/g)		248	206	268	185	189

制法 载体 γ-氧化铝有两种制法：

(1) 成胶法：将氨水滴入三氯化铝溶液中形成氢氧化铝凝胶，然后经过滤、水洗及老化，最后经成球及干燥、煅烧得到 γ-氧化铝。

(2) 烷基铝法：将铝与脱水异丙醇作用制得异丙醇铝，然后将异丙醇铝水解得氢氧化铝凝胶，经老化、干燥、煅烧得 γ-氧化铝。

将制得的 γ-氧化铝浸入含活性组分溶液中浸渍，再经干燥、煅烧等过程得催化剂成品。

使用条件 反应温度 500℃，反应压力 1～3MPa，体积空速 1.5～$5h^{-1}$，氢油体积比 1000～1500。催化剂在使用前应以分压 0.1～0.2MPa 的氢，以 30～50℃/h 升温速率进行还原，对铂铼等催化剂还

608、E-803 及 R 型重整催化剂相比，各项技术指标都相同，但在抗压强度及铂晶粒的热稳定性方面有明显改善。1994 年在济南炼油厂 15 万吨/年装置上的标定数据为：重整油收率 91.51%，稳定汽油辛烷值 94（RONC）。

应用范围较广。主要用于固定床半再生式重整装置中，也可用于其他类型的重整装置中。根据铂和铼的含量不同分成两种牌号，即 3932 及 3933。

基本配方 采用氧化铝为载体，以铂和铼作为金属活性组分，即 Pt-Re-Al_2O_3。3932 为等铂铼比的催化剂，3933 为高铼含量催化剂。

性状 条形颗粒，外形尺寸为 ϕ(1.4～1.6)mm×(3～6)mm，堆积密度 760～820kg/m^3，抗压强度＞10N/mm，比表面积＞180m^2/g，孔容 0.45～0.55cm^3/g。

活性：500℃时芳烃转化率＞110%（质量）。

评价条件：1.47MPa，480～520℃，体积空速 2.0h^{-1}，氢油比（体积）1200，直馏石脑油，芳烃潜含量 38%～43%。

制法 采用浸渍法制造。将载体用含铂和铼的溶液浸渍，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 典型的操作条件：反应压力 1.47MPa，反应温度 480～520℃，体积空速 2.0h^{-1}，氢油体积比 1200。

使用前须经还原处理，并需要适当预硫化，积炭失活催化剂可再生。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05305 **铂铼钛重整催化剂** reforming catalyst，Pt-Re-Ti

简要说明 双金属催化剂由于第二金属的添加可能产生较严重的氢解作用，加入第三金属组分可以调节金属的作用，使催化剂具有更好的活性和选择性。所以本产品稳定性好，运转周期长，并且有较高的芳烃产率。本产品型号为：CB-5B。

基本配方 载体为 γ-Al_2O_3，化学组成为：Pt 0.45%～0.50%，Re 0.26%～0.30%，TiO_2 适量，Cl ≥1.0%，Fe ≤0.012%，Na ≤0.005%。

性状 外观为淡黄色小球，外形尺寸为 ϕ1.5～2.5mm，堆积密度 720～800kg/m^3，比表面积＞180m^2/g，孔容 0.48～0.60cm^3/g。

制法 采用浸渍法制造。先制得 γ-Al_2O_3，而后将其浸入含活性组分的溶液中，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 反应压力约 2.25MPa，反应温度 500℃，体积空速 2.6h^{-1}，氢油体积比 1090。

使用前须经还原处理，积炭失活催化剂可再生。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂。

05306 高铼超低铂重整催化剂 reforming catalyst，Pt-Re

简要说明 通常的铂铼重整催化剂 Re/Pt 比约为 1.0 左右，Pt 的含量一般大于 0.25%。而高铼铂比催化剂的 Re/Pt 比在 2.0 或 2.0 以上，Pt 含量减少。

引入高铼的作用是，使生炭的前身物的数量减到最少，因而提高了催化剂的稳定性和运转周期。高铼铂比催化剂密度高，为提高操作苛刻度，增加生产能力提供了条件，是重整催化剂发展的一个重要方向。本产品有两种型号，CB-8 为抚顺石油化工研究院研制，CB-7 为北京石油化工科学研究院研制。

基本配方 载体为 γ-Al_2O_3，化学组成如下。

CB-7：Pt 0.21%，Re 0.43%，Cl 1.0%～1.2%。

CB-8：Pt 0.15%，Re 0.30%，Cl 1.2%。

性状 外观为淡黄色小球，外形尺寸为 ϕ1.5～2.5mm，堆积密度 750kg/m^3，比表面积＞180m^2/g，孔容 0.5～0.60cm^3/g，机械强度≥70N/粒。

催化剂活性：液体收率≥78%（质量），辛烷值≥90（MON 法）。

评价条件：500℃，1.180MPa，体积空速 2.0h^{-1}，氢油体积比 1200。

制法 采用浸渍法制备。先制得 γ-Al_2O_3，而后将其浸入含活性组分的溶液中，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 反应压力约 2.6MPa，反应温度约 500℃，体积空速约 3.0h^{-1}，氢油体积比 1000。

对原料杂质要求：硫化物≤0.5×10^{-6}，氮化物≤0.5×10^{-6}，水≤5×10^{-6}。

催化剂使用前须经还原处理，积炭失活催化剂可再生。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂等。

05307 **低铂重整催化剂** reforming catalyst with low platinum content

简要说明 为了适应市场的需要，必须不断改善重整催化剂的产品性能，降低生产成本。在不影响催化剂使用性能的前提下，减少重整催化剂贵金属铂的含量，就可以降低催化剂生产成本。CB-9 型重整催化剂就是在不影响 CB-6 催化剂产品使用性能的前提下，为降低其成本而开发出来的。它是由铂、铼和助剂组成，但铂的含量比 CB-6 型少，用 CB-9 型催化剂代替 CB-6，每吨催化剂可节约铂 400g。由于引入了助剂，使贵金属均匀分布，CB-9 型催化剂的活性和选择性与 CB-6 相当。

本催化剂型号 CB-9，主要用于代替 CB-6 型重整催化剂，降低生产成本。

基本配方 贵金属组成为：Pt0.25%（质量），Re0.25%（质量）。以 γ-Al_2O_3 为载体，并含有少量助剂。催化剂中氯含量为 Cl/Al_2O_3 = 1.0%～1.6%（质量）。

性状 外观为 ϕ1.5～ϕ2.5mm 小球，堆积密度 780～870kg/m^3，比表面积(200±20)m^2/g，孔容 0.45～0.55cm^3/g。

催化剂活性：芳烃转化率 114%，芳烃收率 54.7%。

评价条件：温度 480～500℃，压力 1.47MPa，体积空速 2.0h^{-1}，氢油比（体积）1200。

原料：60～130℃直馏汽油［芳潜（42±2)%］。

制法 以纯拟薄水铝石经加入定量无机酸酸化后形成一定粘度的浆液，再滴球成型并经干燥，再经煅烧后成为小球状载体。载体在配好的浸渍液中浸渍，再经干燥和煅烧活化得到成品催化剂。

使用条件 反应压力 1～3MPa，反应温度 480～500℃，体积空速约 1.5～5h^{-1}，氢油体积比 1000～1500。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂等。

05308 CB-11 重整催化剂 reforming catalyst CB-11

简要说明 CB-11 型催化剂是 1997 年开发出来的，其目的是以中铂含量的催化剂代替 CB-5 等高铂含量的重整催化剂，以降低成本，减少装置一次性投资。CB-11 型催化剂主要适用于半再生式固定床重整装置中。在工业上也可将它与 CB-8 型催化剂组合使用，即将 CB-11 作为重整反应的一段催化剂，CB-8 作为重整反应的二段催化剂。由于 CB-11 具有较低的 Re/Pt 比并具有较好的脱氢活性，而 CB-8 具有较高的 Re/Pt 比，选择性好，生焦少。这样组合有利于重整反应进行，即在一段（一、二反）利用 CB-11 的高活性在较低苛刻度下脱氢，而在二段（三、四反）则利用 CB-8 的高选择性及生焦少在较高苛刻度下进行环化脱氢，从而使 CB-11/CB-8 两段组合工艺具有较好的活性、选择性和稳定性。

基本配方 载体为 γ-Al_2O_3，化学组成为（以 Al_2O_3 计）：Pt≥0.23%（质量），Re≥0.36%（质量），Cl≥1.0%（质量），Fe≤0.012%（质量），Na≤0.005%（质量）。金属状态：氧化态。

性状 外观为淡黄色小球，外形尺寸为 ϕ1.5～ϕ2.5mm，堆积密度 730～780kg/m^3，比表面积＞180m^2/g，孔容 0.48～0.60cm^3/g，抗压强度≥70N/粒。

催化剂活性 工业标定结果：液体收率 89.6%（质量），芳烃转化率 117.7%（质量），芳烃收率 54.02%（质量），辛烷值 95，生成油芳烃含量 60.7%（质量）。

评价条件：平均入口温度 498.6℃，平均床层温度 484.2℃，体积空速 3.35h^{-1}，质量空速 2.27h^{-1}，一段氢油比(体积)860，二段氢油比(体积)1548。

原料：大庆初顶及常顶 80～180℃馏分，芳潜 45.89%（质量），四反两段混氢半再生式固定床工艺，一段（一、二反）装 CB-11，二段（三、四反）装CB-8。

制法 将制备好的 γ-Al_2O_3 载体浸入含活性组分的溶液中进行浸渍，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 反应压力 1.2～1.3MPa，反应温度 438～490℃，空速约 2～3.5h^{-1}，氢油体积比 800～1500。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂等。

05309 3961型重整催化剂 reforming catalyst 3961

简要说明 本产品型号为3961，以铂、锡为活性金属组分，以高纯度 γ-Al_2O_3 为载体。其主要特征是表面稳定性得到显著改善，水热稳定性高。与其他同类催化剂相比（如国产3861及进口R-32），在相同使用条件下，催化剂的使用寿命得到延长。如果维持相同的使用寿命，则本催化剂可在较低的氢压及较高的进料速率下，得到具有较高辛烷值的稳定汽油产品。由于催化剂的表面稳定性得到改善，氯的流失减轻，因而可减少操作中的注氯次数。所以，使用本产品不仅可降低操作费用，也减轻了对环境可能造成的污染。本产品的另一个特征是与国外同类产品比较，贵金属的负载量降低，因而使装置的运转成本降低。

本产品适用于连续式重整装置，也可用于半再生式装置。经1996年在上海石化的 (400×10^3) t/a 连续重整装置上三个月的运转实践表明，本催化剂具有高活性和高稳定性。在较低的反应温度下，仍具有较高的氢气产率，而且经25次再生循环后它的表面积仍维持在 $186m^2/g$ 的较高值上。

基本配方 载体为高纯 γ-Al_2O_3，催化剂含氯及金属组分铂和锡。

性状 形状为球型颗粒，外形尺寸为 $\phi1.4\sim\phi2.0$mm，堆积密度540～580kg/m³，比表面积180～220m²/g，孔容>0.70cm³/g，抗压强度≥39N/mm，磨损指数<4%（质量）。

催化剂活性：芳烃转化率≥140%（质量）。

评价条件：530℃，0.69MPa，体积空速 $2.0h^{-1}$，氢油比（体积）800。

原料：直馏石脑油，芳烃潜含量41.56%（质量）。

制法 采用浸渍法制备。将特制的 γ-Al_2O_3 浸渍在含活性组分的溶液中，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 典型的操作条件：反应压力0.86MPa，反应温度（WABT）482.9℃，空速（LHSV）$0.85h^{-1}$，氢油摩尔比3.49。

使用前催化剂须经还原处理。

Co、Ni 等的硫化物作助催化剂，也有采用 Pd、Pt 等贵金属的，并以氧化铝或硅酸铝作为载体。不同的组成，催化性能不同。Mo-Co 系催化剂具有较好的脱硫和使双键饱和的活性、使 C—C 键断开的活性降低，因此，它积炭慢、寿命长、液体产品收率高。Ni-Mo 系催化剂脱除含氮化合物的能力显著大于 Mo-Co 系。Ni-W 系催化剂则具有更高的脱硫活性，对烯烃饱和及芳烃加氢活性也很高。另外，在 Ni-Mo 系催化剂中加入助剂磷可进一步提高催化剂的脱氮活性。

本系列催化剂组成各不相同，因而各催化剂的适用范围也有区别，主要可用于重整原料油的加氢精制，二次加工汽油或柴油的加氢精制，合成氨原料的加氢精制及高含硫馏分油的加氢精制等。型号有 CH-2、CH-3、CH-4、CH-5、CH-6 等。

基本配方 CH-2 型含 Co、Mo 的氧化物；CH-3 型含 NiO2.5%～3.5%(质量)，$MoO_3$17%～21%(质量)，$P_2O_5$2.0%～3.0%（质量），CH-4 型含 NiO 约 3.0%(质量)，$MoO_3$18%(质量)；CH-5 型含NiO，MoO_3；CH-6 型含 $WO_3$11.46%(质量)，$MoO_3$12.6%（质量），NiO1.98%(质量)，P_2O_5 1.58%(质量)，Fe_2O_3 0.019%(质量)，Na_2O 0.014%(质量)。催化剂载体为氧化铝。

性状

	型号			
	CH-2	CH-3	CH-4	CH-6
外观	条状、圆柱形、三叶草形	圆柱形、三叶草形	圆柱形、三叶草形	异形条、三叶草形
外形尺寸/mm	(1.8～2.2)×(4～10)	(1.8～2.2)×(4～10)		外径 1.24
堆积密度/(kg/m³)	700	700	约 1000	约 1070
孔容/(cm³/g)	0.4	0.35	0.30	约 0.29
比表面/(m²/g)	180	200	200	约 188

制法 将 γ-Al_2O_3 载体浸渍上活性组分，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 反应压力 1.6～3.2MPa，反应温度 260～300℃，空速约 4～10h^{-1}，氢油体积比 70～200。

新鲜催化剂为氧化态，需要经预硫化使之变为硫化态才有活性。预硫化采用 H_2S 或 CS_2 等其他硫化剂，在约 20℃下进行。为保证硫

化效果，催化剂应吸收8%左右的硫。

积炭失活的催化剂可以经烧炭再生，其他失活（金属、非金属等沉积等）不能再生。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂等。

05402 **加氢精制催化剂**(RN系列产品) hydrofining catalysts (RN series)

简要说明 本产品属镍钨系加氢精制催化剂。具有较好的脱除硫、氮、氧杂质的能力，特别是脱硫能力更强，对烯烃饱和及芳烃加氢活性也很高。用于重整原料油等加氢精制，在较高空速和较低反应温度下，能满足重整催化剂对硫及其他杂质的含量要求，也可用于航空煤油脱芳烃改善烟点的精制过程等。型号RN-1 (CH-7)、RN-10及RN-100。

基本配方

	型 号		
化学组成/%(质量)	RN-1(CH-7)	RN-10	RN-100
NiO	2.51	约2.5	约2.5
WO_3	21.2	约20	约20
CoO	0.058		
Al_2O_3	余量	国产 γ-Al_2O_3	余量

性状

	型 号		
	RN-1(CH-7)	RN-10	RN-100
外观	淡黄色三叶草条状		蝶形
外形尺寸/mm	ϕ1.2、ϕ1.4、ϕ1.8、ϕ3.6等4种		
堆积密度/(kg/m^3)	约880	约800	约800
孔容/(cm^3/g)	0.325	约0.3	约0.3
比表面/(m^2/g)	161	约150	约150

制法 将稀铝酸钠用稀硝酸沉淀成胶，制得的氢氧化铝凝胶再经老化、洗涤、干燥、捏合、挤条、煅烧得成型的氧化铝，再将氧化铝浸入含镍、钨等的溶液中浸渍，而后经煅烧活化得成品催化剂。

使用条件 随处理品不同而异，以处理辽河原油制得的催化裂化柴油为例，反应温度300～340℃，反应压力3.0MPa，空速2.0h^{-1}，氢油体积比350。使用前需预硫化。

生产厂家　长岭炼油化工总厂催化剂厂等。

05403　**加氢精制催化剂**（481 系列产品）　hydrofining catalysts（481 series）

简要说明　本产品属镍钼系加氢精制催化剂。具有较好的脱除含硫、氮、氧等杂质的能力，特别是脱除含氮化合物，脱氮碱率大于 70%。

用于油品的加氢精制，主要用于石蜡及凡士林的加氢精制和煤柴油深度加氢精制，也可用于直馏及二次加工汽油、煤油、柴油的加氢精制，以提高油品质量及油品储存的安定性。还可以用于重整原料的加氢精制脱硫、脱砷。型号 481-1、481-2 及 481-3。

基本配方

	型　号		
化学组成/%(质量)	481-1	481-2	481-3
NiO	3～5	4～5	4.5～5.5
CoO			0.08～0.12
MoO_3	13～16	17.5～20.5	15.5～16.5
P_2O_5		1.5～2.5	
SiO_2	适量	5.5～7.5	6～8
Al_2O_3	余量	余量	92～94

性状

	型　号		
	481-1	481-2	481-3
外观	灰绿色球状	灰绿色球状	豆绿色小球
外形尺寸/mm	ϕ2～ϕ3	ϕ2～ϕ3	ϕ1.5～ϕ2.5
堆积密度/(kg/m^3)	≥700	670～730	约 700
孔容/(cm^3/g)	0.4～0.6	0.5～0.7	约 0.45
比表面/(m^2/g)	约 200	约 200	≥200
抗压强度/(N/cm)	≥49	≥40	≥42

制法　将三氯化铝与水玻璃配成溶液后用氨水成胶，而后经洗涤、胶溶、油柱成球及煅烧等过程得球状载体，将其浸入含镍、钼等的溶液中浸渍，再经干燥、煅烧等过程制得催化剂成品。

使用条件　反应温度～300℃，反应压力 2～16MPa，空速约 1h^{-1}。使用前需经过预硫化处理。

生产厂家 沈阳催化剂厂、温州催化剂厂等。

05404 **馏分油加氢精制催化剂** catalyst for heavy gas oil hydrofining

简要说明 各种减压馏分油是加氢裂化装置最典型的进料，馏分越重，氮含量越高，氮化合物的结构也越复杂。含氮化合物分碱性氮化物和中性氮化物两种，其中碱性氮约占1/3。馏分油中的氮（尤其是碱性氮）若不能有效地去除，会使加氢裂化的酸性组分（如分子筛）中毒，导致活性降低。这就要求与加氢裂化催化剂串联使用的加氢精制催化剂应具有良好的加氢脱氢活性和稳定性。

本催化剂型号为3936，该剂具有较大比表面积和孔容，催化剂上金属组分分布均匀，具有较好的加氢脱氢活性，主要用于重质油加氢裂化的一段加氢精制过程中。

基本配方 主要活性组分为钨和镍，并添加少量的磷作为助催化剂，以氧化铝为载体。其中 MoO_3 23%～26%，NiO (4.0±0.3)%，P (2.8±0.2)%，余量为 Al_2O_3。

性状 外观为三叶草形，外形尺寸为 ϕ (1.2～1.4)mm×(3～8)mm，堆积密度 880～940kg/m^3，比表面积 > 160m^2/g，孔容 0.32～0.38cm^3/g，抗压强度≥20N/mm，磨损率<1.0%(质量)。

催化剂活性：加氢脱氮率≥99%。

评价条件：温度387℃，压力14.7MPa，体积空速1.0h^{-1}，氢油比（体积）1000。

原料：胜利减侧二线油混入10%焦化瓦斯油，原料含氮 1900×10^{-6}，干点<560℃，精制后含氮<10×10^{-6}，通常约5×10^{-6}。

制法 将特制的氧化铝载体担载上活性组分钨、镍、磷等，再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度355～385℃，反应压力6～18MPa，体积空速1.0～2.5h^{-1}，氢油比（体积）850～1000。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05405 **3822型加氢精制催化剂** hydrofining catalysts 3822

简要说明 3822型催化剂是为重质油的加氢精制面开发的。重质油

通常含氮较多，所以脱氮是重质油加氢精制的一个重要指标。本催化剂主要用于高含氮的重质原料油（如 300～520℃减压瓦斯油或减压瓦斯油与焦化瓦斯油的混合油），高压加氢裂化装置原料油加氢预精制，使原料的含氮量符合要求。也可用于中压加氢裂化装置的一段预精制中。本催化剂还能用作柴油及凡士林油等的中压加氢精制催化剂，也用于石蜡的加氢精制除去含氮、硫、氧的杂质，以及用于使油品中不饱和烃加氢，改善油品的颜色，增加油品的安定性，提高油品的质量。在工业中经常将它与加氢裂化催化剂 3812 或 3824 配合使用，用于重质油一段串联加氢裂化中作为脱氮催化剂使用。

基本配方　以钼和镍为主要活性组分，同时添加少量磷作为助催化剂，采用磷酸铝作为载体，即 Mo-Ni-P-SiO_2-Al_2O_3。

性状　外观有三叶草形和圆柱形两种。

三叶草形外形尺寸为 ϕ1.2mm×(3～8)mm，堆积密度 750～850kg/m^3，抗压强度≥14.7N/mm，磨损率<1.0%(质量)。

圆柱形外形尺寸为 ϕ1.6mm×(3～8)mm，堆积密度 750～850kg/m^3，抗压强度≥14.7N/mm，磨损率<1.0%(质量)。

催化剂活性：胜利减压瓦斯油混入 10%焦化瓦斯油为原料（含氮 1610×10^{-6}、硫 6300×10^{-6}），精制后含氮量小于 10×10^{-6}。

评价条件：温度 380℃，压力 16.0MPa，体积空速 1.0h^{-1}，氢油比（体积）1500。

制法　先制备出所要求的载体，再把活性组分担载在载体上，并经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件　反应温度 380℃，反应压力 7～16MPa，体积空速 1.0h^{-1}，氢油比（体积）1000～1500。

生产厂家　抚顺石化公司石油三厂催化剂厂。

05406　3722 型加氢精制催化剂　hydrofining catalysts 3722

简要说明　3722 型加氢精制催化剂最初是在由减压馏分油生产润滑油中作为加氢精制催化剂的，以后经许多厂采用，证明是一种适用范围较广的催化剂。现在仍被许多炼厂所采用。

主要用于二次加工汽油、煤油及柴油的加氢精制，在加氢裂化或

加氢脱蜡中作为一段精制催化剂使用，及用于润滑油馏分的加氢降凝等。它可在高压或中压下用于多种原料，具有很好的活性、选择性及稳定性。

基本配方 以氧化铝为载体，主要金属组分为镍、钼、钨，还含有少量氟，即 W-Mo-Ni-F-Al_2O_3。

性状 外观黄灰色，有片状及条状两种颗粒。

片状颗粒尺寸为 ϕ4mm×(3～4)mm，堆积密度 1080～1120kg/m^3，比表面积约 140m^2/g，孔容约 0.3cm^3/g，抗压强度≥275N/片。

条状颗粒尺寸为 ϕ1.6mm×(3～8)mm，堆积密度 850～1000kg/m^3，比表面积约 140m^2/g，孔容约 0.35cm^3/g，抗压强度≥6.9N/mm。

催化剂活性：大庆减压瓦斯油（残炭 0.12%、碱氮 360×10^{-6}），精制后含氮不大于 30×10^{-6}。

评价条件：温度 390℃，压力 16MPa，体积空速 1.0h^{-1}，氢油比（体积）1500。

制法 采用浸渍法制造。将含钨、钼、镍的盐溶液，按规定配比浸渍于载体上，再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 360～390℃，反应压力 6～16MPa，体积空速 0.8～1.5h^{-1}，氢油比（体积）1000～2000。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂。

05407 石蜡加氢精制催化剂 paraffin hydrofining catalyst

简要说明 石蜡主要由正构烷烃组成，其中含有少量硫、氮、氧、烯烃及稠环芳烃等杂质，它们影响石蜡的色泽、安定性及使用性能，必须除去。为避免产品石蜡的含油量增加，不希望出现正构烷烃C—C键断裂生成小分子化合物的反应。因此，石蜡加氢精制催化剂应具有较高的芳烃饱和、脱硫及脱氮活性和较适宜的酸性。由于石蜡分子较大，要求催化剂有较大的孔径以减少内扩散的影响。

本催化剂采用具有良好芳烃饱和及脱氮活性的 Ni-W 系活性金属体系，并引入助剂调变催化剂的酸性，使催化剂酸性减弱到合适的程度。催化剂型号为 CH-12，通常与 CH-13 型保护剂配合，用于石蜡的

加氢精制，可得到优良的食品级石蜡。

基本配方 以钨和镍为主要活性组分，并加入助剂，特制载体。其中 WO_3（29.3± 2.0）%、NiO（3.2 + 0.3）%、助剂含量为（0.8 + 0.4）%。

性状 外观为三叶草形，堆积密度约 1000kg/m^3，比表面积≥100m^2/g，孔容≥0.3cm^3/g，压碎强度≥16N/mm。

催化剂活性如下。

原料蜡：熔点 63.7℃，含油 0.38%（质量），颜色号 -3，光安定性号 6～7，针入度 0.1mm（25℃，100g）14，不通过易碳化物，不通过 FDA 紫外吸光度。

精制石蜡：熔点 63.8℃，含油 0.39%（质量），颜色号 + 30，光安定性号 2，针入度 0.1mm（25℃，100g）14，通过易碳化物，通过 FDA 紫外吸光度（稠环芳烃含量接近于零）。

评价条件：氢分压 6.0MPa，反应温度 260℃，空速 1.0h^{-1}，氢蜡比（体积）300。

制法 将特制的载体用浸渍方法载上各种活性组分及助剂，经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 220～300℃，氢分压 > 6.0MPa，空速 < 1.0h^{-1}，氢蜡比（体积）300。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂。

05408 **重整原料加氢精制催化剂** hydrofining catalyst for the feedstock of reforming process

简要说明 具有良好的加氢精制性能，可有效地除去油品中的硫、氮、砷及微量金属杂质。催化剂的活性高，反应压力低。

主要应用于催化重整原料的预加氢过程，特别是用于双金属重整中有较好的效果。也可用于润滑油及汽油、柴油的加氢精制。产品型号为 3761。

基本配方 以具有较强酸性和较大孔体积的一种特制的 γ-Al_2O_3 为载体，活性加氢组分为钼、钴、镍，即 Mo-Co-Ni-Al_2O_3。

性状 外观呈灰色，有片状及条状两种颗粒。

片状颗粒尺寸为 $\phi4\times(3\sim4)$mm，堆积密度 1020～1080kg/m^3，抗压强度≥245N/片。

条状颗粒尺寸为 $\phi1.6$mm×(3～8)mm，堆积密度 840～900kg/m^3，抗压强度≥15N/mm。

制法 采用浸渍法生产。将配好的金属盐溶液按规定配比浸渍于特制的氧化铝载体上，再经干燥、煅烧等步骤制得。

使用条件 使用前无须预硫化处理。典型的操作条件如下。

反应温度 318～324℃，反应压力 1.2～1.22MPa，体积空速 1.9～2.0h^{-1}，氢油比 140～160（体积）。在此条件下，采用 60～145℃大庆直馏石脑油为原料（含硫不大于 250×10^{-6}，砷不大于 150×10^{-9}，产物中含硫＜1×10^{-6}，砷＜1×10^{-9}）。

失活的催化剂可以采用含氧的过热水蒸气再生，经再生后，催化剂的活性可完全恢复。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂。

05409 CH-16 焦化蜡油加氢精制催化剂 coker gas oil hydrofining catalyst CH-16

简要说明 焦化蜡油含硫、氮及胶质等杂质较多，较难进行催化裂化加工。将焦化蜡油进行加氢处理，一方面可拓宽原料来源，缓解催化裂化原料不足；另一方面可提高原料氢碳原子比，脱除原料中会降低裂化催化剂性能的杂质，增加轻质油收率，改善油品质量，减少催化剂的积炭，提高经济效益。

CH-16 型催化剂主要用于焦化蜡油的加氢精制，也可用于减压馏分油的加氢精制过程。

基本配方 以 Ni、W 为活性组分、氧化铝为载体，并引入助剂，化学组成为（%）：WO_3 29±2、NiO 3.0±0.3、助剂 4.5±0.5。

性状 外观为条形，外形尺寸为 $\phi1.6$mm 及 $\phi2.0$mm，比表面积≥90m^2/g，孔容≥0.26cm^3/g，径向抗压强度≥16N/mm。

催化剂活性：脱硫率 98.45%，脱氮率 75.74%，脱碱氮率 85.52%。

评价条件：反应温度 370℃，反应压力（氢分压）6.45MPa，体

强度 18.8N/mm。

催化剂活性评价如下。

(1) 焦化干气为原料：原料中总烯烃 7.729 %(体积)，总硫 188mg/m^3，有机硫 54mg/m^3；产品气有机硫＜0.3mg/m^3，烯烃＜0.1 %(体积)。

评价条件：温度 270℃，压力 2.4MPa，空速 1000h^{-1}。

(2) 石脑油为原料：原料含硫 358μg/g，氮 0.8μg/g，溴价 0.88g/100g；产品硫含量＜0.5μg/g，溴价 0.04g/100g。

评价条件：反应温度 260℃，反应压力 2.4MPa，体积空速 1.0h^{-1}，氢油比（体积）100。

制法 氢氧化铝粉、胶溶剂及助剂按一定比例混捏、挤条并煅烧得到催化剂载体。由活性组分的盐类与水配制成共浸液，用过饱和或饱和共浸液浸渍，浸后经干燥、煅烧得成品催化剂。

使用条件 焦化干气加氢精制：反应温度 240～370℃，反应压力 2.4MPa，空速 200～1000h^{-1}。石脑油加氢精制：反应温度 260～320℃，反应压力 2.4MPa，体积空速 1～10h^{-1}。

生产厂家 长岭炼油化工总厂催化剂厂。

05411 CH-18 型重整预加氢催化剂 CH-18 hydrotreating catalyst for reforming feedstocks

简要说明 重整预加氢趋向于采用高空速(＞3h^{-1}) 及低氢油比(＜100m^3/m^3) 的工艺，以降低能耗，减少成本。CH-18 型催化剂以直馏汽油为原料进行预加氢，可在高空速下操作，可掺兑二次加工劣质汽油，脱硫、脱氮性能强。CH-18 型催化剂主要用于重整原料的预加氢。脱除砷、铅、铜、汞、铁及氧、硫、氮等杂质，使这些毒物的含量降到允许的范围以内，避免重整催化剂中毒，同时还使烯烃饱和以减少重整催化剂的积炭，延长操作周期。本催化剂还可用于其他高硫油品的加氢精制。

基本配方 以 Co-Ni-W 为活性组分，以氧化铝为载体，并引入助剂。化学组成为/%(质量)：CoO≥0.03，NiO≥2.0，WO_3≥19.0，助剂≥0.7。

性状　外观为条形，堆积密度约 984kg/m^3，比表面积≥130m^2/g，孔容≥0.27cm^3/g，侧压强度≥16N/mm。

催化剂活性：脱硫率＞99%、当原料为含硫 208×10^{-6}的大庆初顶油时，经预加氢后，生成油含硫 0.3×10^{-6}，得到合格的重整进料。

评价条件：反应温度 260℃，反应压力 1.6MPa，空速 10h^{-1}，氢油比 90（体积）。

制法　将氢氧化铝、助挤剂、胶粘剂和去离子水按一定比例加入到混捏器内进行混捏后再挤条成型。成型后的条状物经干燥和煅烧后制得 γ Al_2O_3 载体。将钨盐、镍盐、钴盐、助剂和水按一定比例制备成共浸液，将载体置于共浸液内进行共浸。浸后的条状物经干燥、煅烧、过筛即得到成品催化剂。

使用条件　反应温度 250～280℃，反应压力 1.0～1.6MPa，空速 10～15h^{-1}，氢油比 15～90（体积）。

生产厂家　长岭炼油化工总厂催化剂厂。

05412　**常压渣油加氢脱硫催化剂**　atmospheric residue hydrodesulfurization (HDS) catalyst

简要说明　渣油加氢是对渣油进行利用及深加工的途径之一，渣油固定床加氢处理的目的在于脱除硫、氮、重金属和残炭等杂质，同时进行一定程度的裂化反应，可以获得轻馏分、低硫燃料油、催化裂化及焦化的原料。一般是将脱金属、脱硫和脱氮过程进行适当组合。渣油脱硫的作用是脱硫及金属、部分氮化物并进行部分加氢裂化反应，降低残炭、芳烃、胶质和沥青质的含量及进料的粘度。

本催化剂产品型号为 FZC-301，主要用于常压渣油的固定床加氢脱硫过程。虽然常压渣油含有较易加工的 VGO(减压瓦斯油)，油性比减压渣油略好，但仍比馏分油低劣得多。渣油中的硫化物主要是分布在胶质、沥青质等中的苯并噻吩、萘并噻吩及其高分子的化合物，渣油还含有较多的重金属及残炭等杂质，加氢脱硫的难度大。FZC-301 是根据渣油的性质特制的加氢脱硫催化剂，通过采用孔分布集中

部分轻质油品及催化裂化或焦化的原料。

基本配方 加氢脱硫催化剂以 Mo、Ni、P 为主要活性组分，以特制的大孔容及大比表面的氧化铝为载体。

化学组成为/%（质量）：MoO_3 18.0～20.5，Ni 4.0～5.0，P 1.7～2.1。

加氢脱氮催化剂的化学组成为/%（质量）：MoO_3 22.0～22.4，Ni 8.5～9.5。

性状 外观为圆柱形，外形尺寸为 ϕ（0.8～0.9）mm×（2～6）mm。

加氢脱硫催化剂：堆积密度 850～900kg/m^3，比表面积 140～180m^2/g，孔容 0.37～0.42cm^3/g，侧压强度 10～13N/mm。

加氢脱氮催化剂：堆积密度 850～900kg/m^3，比表面积 190～240m^2/g，孔容 0.37～0.42cm^3/g，侧压强度 8～12N/mm。

催化剂活性：脱硫率 93.0%，脱氮率 69.2%，脱残炭率 71.8%，脱（Ni+V）率 86.3%。

评价条件：反应温度 399℃，反应压力 15.7MPa，体积空速 0.22h^{-1}，氢油比（体积）758。

原料：孤岛减压渣油，残炭 11.82%（质量），金属含量 85.18×10^{-6}、胶质 34.4 %(质量)、沥青质 3.2 %(质量)、含硫 2.28 %(质量)、含氮 0.74 %(质量)。

制法 以碳化法氧化铝干胶粉为原料，用挤条成型方法制成载体，再通过浸渍含金属化合物溶液载上活性组分，并经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 390℃，反应压力 15～16MPa，体积空速 0.20～0.25h^{-1}，氢油比(体积)720～760。

生产厂家 齐鲁石化公司第一化肥厂。

05414 **润滑油加氢精制催化剂** hydrofining catalyst for lubricating oil

简要说明 具有良好的使多环芳烃加氢开环的能力。其突出的特点是可以在高温、高压和低空速的苛刻条件下工作，并具有很好的活性、稳定性和可再生性能。

主要用于润滑油的加氢精制。由于它可将润滑油料中的多环芳烃加氢开环，得到含芳烃少而侧链多的芳烃及环烷烃，因而可提高润滑油的粘度指数。同时还副产高质量的轻油(如石脑油等)，切割其产物中的132～260℃馏分还可作为航煤使用。其柴油馏分具有较高的十六烷值和较低的冰点，是理想的低冰点柴油。所以它不仅可用来生产高质量的润滑油或润滑油的基础油，还可副产高质量的轻质油品。产品为3934/3935复合型催化剂。

基本配方 3934采用改性氧化铝作为载体，3935采用改性氧化铝和大孔高硅分子筛的混合物作为载体，二者所采用的活性组分均为钨、钼和镍。催化剂是以一定比例的3934与3935复合而成的，即其成分为：W-Mo-Ni-SiO_2-Al_2O_3。

性状 形状为三叶草形颗粒，外形尺寸为ϕ(1.2～1.4)mm×(3～8)mm。

对3934：堆积密度1000～1100kg/m^3，比表面积≥100m^2/g，孔容≥0.24cm^3/g，抗压强度≥20N/mm，磨损率<3m%。

对3935：堆积密度850～950kg/m^3，比表面积≥160m^2/g，孔容≥0.22cm^3/g，抗压强度≥20N/mm，磨损率<3m%。

制法 3934和3935均先制备载体，再载上活性组分，经干燥、煅烧等步骤制得催化剂。将成型好的两种催化剂按一定比例混合即可作为成品催化剂使用。

使用前需经还原。典型的操作条件为：反应温度382℃，反应压力7.9MPa，体积空速0.5h^{-1}，氢油比(体积)800。在此条件下，采用辽河减侧三线油作为原料，>350℃脱蜡油收率≥50 %(质量)。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂。

05415 **含硫VGO和CGO加氢精制催化剂** hydrofining catalyst for sulfur-containing VGO and CGO

简要说明 随着近年进口原油，特别是中东地区高硫原油进口量的增加，含硫VGO(减压瓦斯油)的产量增加。另外，随着加工深度的增加，CGO(焦化瓦斯油)的产量也不断增加。CGO不经处理直接掺入VGO中作为催化裂化进料，虽扩大了催化裂化原料来源，但CGO的

硫、氮、芳烃含量高，直接影响催化裂化操作和产品质量。所以，含硫 VGO 和 CGO 的加氢预处理是优化催化裂化进料的有效途径。含硫 VGO 和 CGO 的加氢预处理目的在于脱硫、脱氮，并使多环芳烃饱和。

本品具有较好的脱硫、脱氮活性，可在中压条件下对含硫 VGO 和 CGO 进行加氢精制，也可用作一段串联中压或高压加氢裂化、缓和加氢裂化以及中压加氢改质的一段加氢精制催化剂。产品型号有 FDS-4 型及 CH-20 型。

基本配方 FDS-4 型：活性组分为镍和钼，其中 NiO 3.5%～4.5%，MoO_3 19.0%～22.0%，其余为载体氧化铝。CH-20 型：NiO 3.94%，MoO_3 23.79%。

性状 FDS-4 型：外观三叶草型条，外形尺寸为 ϕ1.5mm ×(3～8) mm。堆积密度 0.78～0.98g/cm^3，比表面积≥180m^2/g，孔容≥0.38cm^3/g，侧压强度≥15N/mm。

催化活性：脱硫率 95.3%，脱氮率 85%。

评价条件：温度 370℃，压力 15.7MPa，体积空速 1.25h^{-1}，氢油比(体积)600。

原料：沙轻 VGO，含硫 2.2 %(质量)、含氮0.079%(质量)、残炭0.08%(质量)、芳烃 47%、馏程 319～531℃。

CH-20 型：外观三叶草型条，外形尺寸为ϕ1.3mm×(3～8)mm。

堆积密度 0.91g/cm^3，比表面积 215m^2/g，孔容 0.365cm^3/g，耐压强度≥24.3N/mm。

催化活性：脱硫率 98.6%，脱氮率 99%，三环以上芳烃＋胶质脱除率 76.4 %(质量)。

评价条件：温度 368～376℃，压力 15.5MPa，体积空速 1.0～1.1h^{-1}，氢油比（体积）950～1000。

原料：沙轻 VGO，含硫 2.2 %(质量)、含氮 790μg/g、残炭 0.08%(质量)、馏程 319～531℃。

制法 采用浸渍法制造，将载体浸渍上活性组分，再经干燥、煅烧等过程制得催化剂成品。

使用条件 反应温度 360～380℃，反应压力6(中压) ～16(高压)

MPa，体积空速 1.0～2.0h^{-1}，氢油比（体积）600～1000。

生产厂家　抚顺石油化工研究院，长岭炼油化工总厂催化剂厂。

05416　FH-5 型加氢精制催化剂　hydrofining catalyst FH-5

简要说明　具有较好的脱硫及脱氮活性，可用于二次加工的劣质汽柴油、高含硫原油的直馏柴油及重油催化裂化柴油等的加氢精制。由于近年来进口原油的炼量逐年增加，进口原油的主要来源是中东地区的含硫原油，它所得直馏油品的硫含量高。另外，随着炼厂加工深度的提高，二次加工的劣质油品(如焦化柴油等)及渣油催化裂化的油品产量增多，这些产品中都含有较多的含氮化合物，需要经过加氢精制后才能使用。

本品有 FH-5 和 FH-5A 两种型号，都具有较好的加工劣质油的性能。

基本配方　FH-5 型主要成分为：NiO4%～5%(质量)，MoO_3 8%～10%(质量)，WO_3 17%～21%(质量)，B_2O_3 3%～4%(质量)，活性组分总含量 31%～39%，其余为硅酸铝载体。FH-5A 型活性组分总含量为 26.5%～30.5%。

性状　外观为豆绿色小球，外形尺寸为 ϕ1.5～ϕ2.5mm。

堆积密度 1.10～1.20g/cm^3（FH-5 型）及 0.90～1.10g/cm^3(FH-5A 型)，比表面积≥120m^2/g，孔容约 0.25cm^3/g。

FH-5 型催化活性脱硫率 90%～99%，脱氮率 40%～99%，脱碱氮率 70%～99%。评价条件：原料为二次加工劣质汽柴油，氢分压 3.0～6.0MPa，空速1.0～2.0h^{-1}，氢油比(体积)400～800。

FH-5A 型：脱碱氮率＞90%。评价条件：原料为沙特原油直硫柴油∶重油催化裂化柴油＝7∶3 混合油，氢分压 3.4MPa，空速 2.5 $^{-1}$，氢油比(体积)350。

制法　三氯化铝与水玻璃作为原料，用氨水作沉淀剂制得凝胶，再经洗涤、胶溶、油柱成型及煅烧得到球状硅酸铝载体。然后分别经一次喷浸、煅烧及二次喷浸、煅烧，将活性组分载上，从而制得催化剂成品。

使用条件　温度约 380℃，反应压力约 10MPa，空速约 2h^{-1}。

生产厂家 温州催化剂总厂等。

05417 FH-98 型加氢精制催化剂 hydrofining catalyst FH-98

简要说明 随着原油加工深度的增加，以及增产柴油措施的实施，重油催化及焦化等二次加工柴油的比例增大。由于重油催化和焦化柴油的硫、氮及胶质含量高、安定性差，为适应新的柴油产品标准及解决二次加工柴油的安定性等问题，需对柴油进行加氢精制处理。FH-98 催化剂具有脱硫、脱碱氮、脱胶质能力强，油品的氧化安定性好，柴油收率高等特点，是二次加工柴油加氢精制的理想催化剂。此外，FH-98 催化剂也可用于其他油品的加氢精制过程。

基本配方 以 W、Mo、Ni 为主要活性组分，W-Mo-Ni 总含量 32%（质量），并添加（3±0.5)%（质量）的助催化剂。

性状 外观为三叶草形，外形尺寸为 1.1～1.2mm，堆积密度 920～1020kg/m^3，比表面积≮110m^2/g，孔容≮0.25cm^3/g，机械强度≮150N/cm。

催化活性：生成油氧化安定性(总不溶物) 1.63mg/100cm^3，相对脱碱氮活性 108%，相对脱硫活性 102%，相对脱胶质活性 115%。

评价条件：反应温度 330℃，氢分压 8.6MPa，体积空速 2.7h^{-1}，氢油比（体积）500。

原料：大庆焦化柴油:重油催化轻柴油=4:3 混合油。

制法 采用浸渍法将活性组分及助催化剂担载在载体上，再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 330～340℃，反应压力（氢分压）7～9MPa，体积空速2.7～3.0h^{-1}，氢油比(体积)500。

生产厂家 温州催化剂总厂等。

05418 加氢脱硫催化剂 hydrodesulfurization catalysts

简要说明 主要用于各种烃类的加氢脱硫，包括轻油、天然气、炼厂气、油田气、焦炉气及城市煤气等。也用于重整原料的加氢精制及润滑油加氢精制，同时脱去有机含硫、氮、氧的杂质。型号 NCT202-2、

FDS-4A 及 3733。

基本配方 NCT 202-2 型以 CoO-MoO_3 为主要成分，TiO_2/Al_2O_3 复合物为载体；FDS-4A 以 CoO-MoO_3 为主要成分，TiO_2-Al_2O_3 为载体；3733 以 Fe_2O_3-MoO_3 为主要活性组分，以 Al_2O_3 为载体。

性状

	型号		
	NCT202-2	FDS-4A	3733
外观	淡蓝色圆柱形条状	淡蓝色球形	淡黄色圆柱状
外形尺寸/mm	ϕ3.0×(4.0～10.0)	ϕ1.5×2.5	ϕ6×(4～5)
堆积密度/(kg/m^3)	750～850	80	700～800
孔容/(cm^3/g)	0.3～0.5	0.47	约 0.4
比表面积/(m^2/g)	200	228	约 160
抗压强度/N/粒		40	≥120(N/cm)
催化活性		精制油中硫含量<0.5×10^{-6}	有机硫加氢转化率≥93%

制法 三种催化剂基本制法相同，首先用沉淀或共沉淀及干燥、煅烧等过程制得载体，再将载体浸渍到含活性组分的溶液中，再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂，其中 3733 型经过二次浸渍。

使用条件

	型号		
	NCT202-2	FDS-4A	3733
反应温度/℃	300～400	270～320	约 300
反应压力/MPa	3～4	1.6～2.0	0.5～4
空速/h^{-1}	1000～3000(气体)	8～10	1～6
氢油比(体积)	60～100	80～200	

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂，抚顺石油化工研究院，上海吴泾化工厂，长岭炼油化工总厂催化剂厂，抚顺石化公司催化剂厂，温州催化剂总厂等。

05419 加氢脱氮催化剂 hydrodenitrogenation catalysts

简要说明 在中压下具有极好的加氢脱氮活性，也具有很好的脱硫活性，适用于高含氮原料的加氢精制。主要用于低、中压加氢裂化原料的加氢脱氮、脱硫，也用于其他加氢精制过程，例如油品加氢改善颜

色、安定性等，提高油品的质量。还可用于处理劣质的二次加工副产物（如焦化蜡油等），使其成为优质的催化裂化原料。本产品型号为3926。

基本配方　3926催化剂采用氧化铝作为载体，主要活性组分为钨、钼、镍等，即W-Mo-Ni-Al_2O_3。

性状　有三叶草形和条形两种颗粒，尺寸为ϕ(1.3～1.5)mm×(3～8) mm，堆积密度900～1050kg/m^3，比表面积＞110m^2/g，孔容＞0.3cm^3/g，抗压强度＞15N/mm。

制法　采用喷淋浸渍法制造，首先将金属盐按一定比例配成溶液，而后将它喷淋到载体上，载体在硫化状态下进行浸渍，而后经干燥、煅烧活化等步骤即得成品催化剂。

使用条件　典型的操作条件为：反应温度390℃，反应压力6.37MPa，体积空速1.0h^{-1}，氢油比1000（体积）。在此条件下，当采用胜利减侧二线作为原料(干点不大于510℃、含氮1120×10^{-6}、含硫4600×10^{-6}）时，脱氮率不小于96%，脱硫率不小于97%。

生产厂家　抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05420　**加氢保护催化剂**　protective catalyst for hydrogenation catalyst

简要说明　由于原油重质化和劣质化的趋势加剧，油中残炭、沥青质含量和酸值增加，加工时生成环烷酸铁等腐蚀产物，导致加氢裂化原料油质量变差。环烷酸铁进入加氢反应器中，生成硫化铁沉积在反应器顶部及催化剂床层间隙中。硫化铁在高温下有促进生焦的功能，使焦炭增多，并堆积在催化剂颗粒之间。最终引起沟流、产生热点，促使催化剂结块，反应器压降迅速上升达到允许极限，被迫停工处理。保护剂的主要功能是捕捉穿透过滤器的污垢，将生成的硫化铁等金属杂质和生炭物吸附在保护剂内部，以减少对主催化剂间隙的堵塞，延缓反应器压降的增高，要求保护催化剂应具有高的容金属和容垢能力，有大的孔容，并有一定比例的大孔和特大孔及较高的强度。

本催化剂型号为CH-13(RG-1)型，具有高的容金属杂质、容炭

和容垢能力，并具有较好的处铁能力，可作为加氢催化剂的保护剂使用。

基本配方　主要活性组分为钼和镍，以氧化铝为载体，其中 MoO_3<10%、NiO<5%。

性状　外观为三叶草形，直径 ϕ1.6mm，比表面积 200～260m^2/g，孔容0.6～0.7cm^3/g，压碎强度>12N/mm。

催化活性：铁脱除率>80%，C_5 不溶物脱除率>75%。

评价条件：反应温度 340℃，氢分压 13.7MPa，体积空速 10h^{-1}。

原料为加入合成环烷酸铁的南京管输原油减压瓦斯油（含铁100μg/g）。

方法　将专用的氧化铝载体浸渍载上活性组分，经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件　CH-13(RG-1)型保护催化剂通常放在加氢催化剂的前面，用量通常为主剂的 10%(体积)。温度 340～390℃，压力 6～16MPa，体积空速 10h^{-1}(相当于主催化剂体积空速 1.0h^{-1})，氢油比 800～1000(体积)。

生产厂家　抚顺石化公司石油三厂催化剂厂。

05421　**加氢脱铁催化剂**　hydrogenation iron removing catalyst

简要说明　主要用于脱除油品中溶解的含铁有机化合物及悬浮的无机铁化合物。在原油及各种馏分油中都不同程度地含有铁化合物，在作为加氢裂化等过程的原料时，铁的存在会使反应器的床层压降迅速增大，从而破坏装置的正常操作，所以需要把原料中的铁除去。

本催化剂包括三种型号 3921、3922 及 3923，它们均具有较高的除铁及容铁能力。在催化剂上铁含量达到 6%以上时仍具有一定的除铁能力，其综合性能已超过某些进口催化剂。使用本催化剂除去原料中的铁，可以延长装置的运转周期，从而增加经济效益。

基本配方　以氧化铝作为载体，含有镁、钼、镍等金属活性组分。基本配方：3921 为 $Mg-Al_2O_3$，3922 为 $Mo-Al_2O_3$，3923 为 $Mo-Ni-Al_2O_3$。

基本配方

	型号				
	JNM-2	KH-03	3642	3665	JT-2
镍/%	2.5～3.5	2～4	4～5	2～3	3～4
氧化钼/%	14～17	10～14	$CuSO_4$	12～15	10～13
载体	γ-Al_2O_3	γ-Al_2O_3	SiO_2-Al_2O_3	Al_2O_3	Al_2O_3

性状

	型号				
	JNM-2	KH-03	3642	3665	JT-2
外形尺寸/mm	$\phi2\times(4\sim10)$	$\phi4\sim\phi6$	$\phi2\sim\phi3$	$\phi6\times(3\sim4)$	$\phi2\sim\phi4$
外观	条状	球状	球状	片状	球状
堆积密度/(kg/m³)	700～900	700～900	700	—	750～850
比表面积/(m²/g)	160～240	—	—	283	150～250
入口有机硫/$\times10^{-6}$	200	100～200	—	350	<200
入口砷/$\times10^{-9}$	200	100～200	90～100	107	<200
出口有机硫/$\times10^{-6}$	<4	<0.3	—	<2	<0.3
出口砷/$\times10^{-9}$	<4	<1	<3	<0.77	<10

制法 先制得载体，而后用浸渍法载上活性组分，再经干燥、煅烧等过程制得催化剂。

使用条件

	型号				
	JNM-2	KH-03	3642	3665	JT-2
压力/MPa	2.0～6.5		常压	2.5	2.0～6.0
温度/℃	300～400		室温	300	320～400
液空速/h^{-1}	1～6	1～6	4	6	0.5～4
氢油比(体积)		80～100	—	80	60～100

生产厂家 扬州催化剂厂，抚顺石化公司石油三厂催化剂厂，昆山精细所等。

05423 抽余油加氢催化剂 hydrofining catalysts for raffinate oil

简要说明 本产品主要具有使烯烃及芳烃加氢饱和的能力，用于重整装置的抽余油加氢，使其中的烯烃及芳烃加氢饱和，从而制取符合标准的溶剂油。型号有 NCG 型及 PA-750 型。

基本配方 NCG 型以镍为主要活性元素，以氧化铝为主要载体。

PA-750 型化学组成/%(质量)为:Pt～0.25，Fe_2O_3<0.05，Na_2O<0.3，载体为 γ-Al_2O_3。

性状 NCG 型为黑色或灰黑色圆柱形颗粒，外形尺寸为 ϕ5mm×5mm，堆积密度 1000kg/m^3，比表面积 130m^2/g，孔容 0.32cm^3/g，抗压强度(径向) ≥138N/cm。

PA-750 型为淡黄色条形，外形尺寸为 ϕ1.8mm×(2～8) mm，堆积密度 700kg/m^3，比表面积 150m^2/g，孔容 0.36cm^3/g。

制法 NCG 型制备：将镍经化镍后与含铝的溶液混合，经共沉淀、水洗、压滤、干燥、煅烧、成型，将成型的催化剂再经还原、钝化后制得成品催化剂.

PA-750 型制备：将预先制备好的氧化铝载体浸入氯铂酸溶液中浸渍，再经干燥、煅烧即得成品催化剂。

使用条件 NCG 型：反应温度 120～200℃，反应压力常压～20MPa，空速 1～4h^{-1}，氢油比(体积)约 120。

PA-750 型：反应温度约 180℃，反应压力常压 1.4MPa，空速 2～8h^{-1}，氢油比（体积）约 200。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂，中科院山西煤炭化学研究所。

05424 柴油加氢脱蜡（临氢降凝）催化剂（系列） hydrodewaxing catalysts for diesel fuel (series)

简要说明 采用石蜡基原油生产的柴油，往往因含蜡多、凝点高，影响使用性能。采用催化加氢脱蜡，对扩大低凝柴油的供应是一条有效的途径。加氢脱蜡主要是采用 ZSM-5 类分子筛作为催化剂的主要成分，它是一种有孔径为 0.55nm 二维交叉孔道的高硅沸石。由于其独特的孔结构特征，只允许正构烷烃(Dm=0.42～0.43nm)和单侧链烷烃(Dm=0.55nm)进入孔道发生裂化反应。其他异构烷烃、环烷烃等，分子直径大于 0.6nm，不能进入孔内，不能发生反应。由于蜡的成分正构烷烃类发生裂化及异构化，使柴油的凝点降低，并副产汽油和液化气。

本产品型号有：FDW-1 和 NDZ 型，其中 FDW-1 型主要成分为无胺合成的五元环结构高硅沸石和一定量胺粘剂，并载有加氢组分金

理是采用具有特殊孔道结构的 ZSM-5 分子筛作为载体制得的催化剂，将油品中的直链烷烃分裂成汽油馏分及少量 C_3、C_4，以降低油品的凝点。此工艺只消耗少量的氢或完全不消耗氢。

本产品主要用于含蜡柴油及煤油的加氢脱蜡，也可用于润滑油的加氢脱蜡装置中。与进口催化剂相比，具有低成本、低反应温度及运转周期长等优点，并具有良好的氢气活化和氧再生性能，可经反复多次的再生及活化过程。可以取代进口加氢脱蜡催化剂及国产第一代加氢脱蜡催化剂 3862。本产品已获国家专利和中石化科技进步二等奖，并已在齐鲁石化等多套装置上得到应用，显示了良好的活性、选择性和稳定性。产品型号 3881。

基本配方 3881 催化剂采用 ZSM-5 分子筛及氧化铝的混合物作为载体及裂化组分，以镍为金属活性组分，即 Ni-ZSM-5-Al_2O_3。

性状 条形颗粒，外形尺寸为 ϕ1.8mm×(3～8)mm，或三叶草形颗粒，尺寸为 ϕ(1.2～1.6)mm×(3～6)mm，堆积密度 720kg/m^3，比表面积＞250m^2/g，抗压强度≥9.8N/cm，磨损率＜1%（质量）

催化活性：柴油产率 72.41%，汽油产率 23.05%，柴油凝点＜－20℃，总液收 95.45%。

评价条件：温度 389.6℃，压力 4.22MPa，体积空速 1.11h^{-1}，氢油比(体积)400。

原料：胜利轻减压馏分油与常压馏分油混合。

制法 ZSM-5 分子筛采用无胺模板剂的直接合成法合成，将 Na 型分子筛交换成 H 型，而后将金属镍载在载体上，经干燥、煅烧后制得成品催化剂。

使用条件 典型的操作条件为：反应温度 380℃，反应压力 4.0MPa，体积空速 1.0h^{-1}，氢油比(体积)420。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05426 **润滑油加氢脱蜡(临氢降凝)催化剂(系列)** hydrodewaxing catalysts for lube oil (series)

简要说明 含蜡的润滑油料必须脱蜡才能制得低温流动性良好的润滑

油。加氢脱蜡(或称临氢降凝)是在较高温度和较高氢压下，在催化剂和氢气作用下，使凝固点较高的正构烷烃经选择性裂化和加氢异构化，转变为凝固点较低的异构烷烃，而其他烃类基本上保持不变，达到降低润滑油凝点的作用。这样就要求催化剂具有较高的选择性，通常可利用分子筛的形状选择性来实现。

润滑油料中的高凝点石蜡烃组分，主要是20个碳原子以上的正构烷烃和少侧链异构烷烃，它们的分子直径比润滑油的理想组分（异构烷烃及环烷烃）分子直径小。当采用ZSM-5类分子筛时，蜡的组分可以进入分子筛孔内而其他烃类难以进去，这就使蜡的组分在催化剂上发生加氢裂化，从而把蜡脱除。

型号有：3715及3722适于润滑油料的加氢处理，3731适用于润滑油临氢降凝第二段用，3792可用于第一或第二段润滑油临氢降凝中。

基本配方 采用改性ZSM-5分子筛作为载体及裂化组分，引入其他过渡金属组分作为加氢组分。3731含MoO_3-NiO，3792含WO_3-MoO_3-NiO及Sn、Zn组分。3715采用SiO_2-Al_2O_3-F为载体，WO_3-MoO_3-NiO为金属组分；3722采用Al_2O_3-F为载体，WO_3-MoO_3-NiO为金属组分。

性状 3715为6mm×6mm片状，堆积密度1100kg/m^3；3722为4mm×4mm片状，堆积密度1100kg/m^3；3731为4mm×4mm片状，堆积密度630kg/m^3；3792为ϕ4mm×(3～4)mm片状，堆积密度770～830kg/m^3，抗压强度≥147N/片。

催化活性：3792型催化剂在410℃，19.6MPa，液空速1.0h^{-1}，氢油比(体积)2 000条件下，采用大庆减二线油，凝点44℃、残炭0.87%、碱氮210×10^{-6}，得到的生成油液收>70 %(质量)，润滑油收率>50 %(质量)，>320℃馏分凝点<－5℃。

制法 ZSM-5分子筛是采用季铵盐作模板剂，经水热合成制得，经离子交换改性，而后混合上金属组分，并经成型、煅烧制成催化剂。

使用条件 减压馏分油加氢脱蜡时，典型操作条件为3731型反应温度389℃，氢分压16.4MPa，空速1.1h^{-1}；3792型反应温度419℃，氢分压15MPa，空速1.0h^{-1}，氢油比（体积）1900。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂，长岭炼油化工总厂催化剂厂等。

05427 **润滑油加氢脱蜡催化剂** hydrodewaxing catalysts for lube oil

简要说明 是20世纪90年代开发的新一代润滑油加氢脱蜡催化剂，可作为3792催化剂的更新换代产品。主要用于以加氢裂化尾油或减压侧线馏分油为原料，经加氢脱蜡生产优质润滑油基础油的装置中。得到的产品具有低凝点、良好的粘温特性及低杂质含量等优点，可用来调制高质量的发动机油及低凝点液压油等润滑油品。催化剂的活性、选择性及产品的性能均优于催化剂3792。产品型号3902。

基本配方 3902催化剂采用改性ZSM-5分子筛、硅酸铝和氧化铝的混合物作为载体及裂化组分，以金属镍和钨作为加氢活性组分，即$W-Ni-SiO_2-Al_2O_3$。

性状 条形颗粒，外形尺寸为ϕ3mm×(3～8) mm，堆积密度700～800kg/m^3，孔容>0.15cm^3/g，抗压强度≥10N/mm。

催化活性：产品收率>75%(质量)，>320℃液收>80%(质量)，>320℃馏分凝点< 15℃。

评价条件：温度280℃，压力16MPa，体积空速1.43h^{-1}，氢油比1000(体积)。

原料：加氢裂化尾油。

制法 采用浸渍法制造。用含钨和镍的溶液浸渍由改性ZSM-5分子筛与硅酸铝、氧化铝混合制得的载体，再经干燥及煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 典型操作条件为：反应温度280～380℃，反应压力16～18MPa，体积空速1.4～6.7h^{-1}，氢油比850～1000（体积）。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05428 **JT-1G型加氢催化剂** JT-1G hydrogenation catalyst

简要说明 用廉价的焦化干气为原料取代轻油制氢，可大大地降低制氢成本。但焦化干气中烯烃含量高（约10%左右），大量的烯烃会造成制氢催化剂失活；另外，焦化干气中含有大量的硫(约为10000×

性质及生产目的不同时，对催化剂的要求不同，主要是通过调节催化剂的酸性功能和加氢功能来实现。一般来说，分子筛的酸性强于无定型硅酸铝，可以通过不同种类分子筛、分子筛的改性及催化剂的不同制造方法等手段，有目的地影响催化剂的催化性能，以便制造出适应不同原料及不同生产目的的催化剂。

本系列催化剂组成各不相同，因而催化剂的应用范围也有所区别。3652 型及 3705 型可用于以减压轻馏分油或蜡油为原料，生产低凝航煤、柴油及重整原料等。3762 型主要用于以减压馏分油或焦化柴油等为原料，生产汽油、煤油及柴油等。

基本配方　3652 型以无定型硅酸铝为载体，以 WO_3-NiO 为金属加氢组分；3705 型以 Y 型沸石和氧化铝的混合物作为载体，以 WO_3-MoO_3-NiO 为金属组分；3762 型以高硅大孔沸石和硅酸铝的混合物作为载体，以 WO_3-NiO 为金属组分，含少量 F 增强酸性。

性状　3652 型 6mm×6mm 圆柱状或片状，堆积密度 780～820kg/m^3，3705 型 6mm×6mm 片状，堆积密度 870～1000kg/m^3；3762 型 4mm×4mm 片状，堆积密度 870～980kg/m^3。

催化活性：3652 型以 313～504℃大庆减压馏分油为原料，在 438℃，18.0MPa，体积空速 1.0h^{-1}下，得到的产物产率［%（质量）］为气体 2.7，汽油 17.4，煤油 36.3，柴油（0 号）10.1，未转化油 33.5；3762 型以 318～506℃大庆减压馏分油为原料，在 390～430℃下得到的产物产率［%（质量）］为气体 2.9，汽油 23.7，煤油 31.8，柴油 10.7，未转化油 30.9。

制法　3652 型：以水玻璃和三氯化铝为原料，以氨水为沉淀剂制得硅铝凝胶，载上金属组分，而后经成型、煅烧等过程制得催化剂。

3705 型：将 Y 型沸石和氧化铝混合，载上金属组分，再经干燥、煅烧等过程制得催化剂。

3762 型：将碱性的含硅、钨的溶液与酸性的含铝、镍、氟的溶液混合成胶，再混入高硅沸石（β 沸石），经干燥、成型及煅烧等过程制得催化剂。

使用条件　反应温度 370～450℃，反应压力 10～15MPa，空速 1～

可用于各种原料或混合原料，生产各种目的产物的加氢过程，具有非常大的灵活性。特别是用于处理高含硫、氮及芳烃的劣质原料，生产高芳烃潜含量的重整原料、航空煤油、柴油、生产乙苯的原料、润滑油的基础油及白油原料等。

催化剂具有小颗粒、高比表面及高强度的特点，因而具有良好的加氢裂化活性、选择性和稳定性。催化剂型号3824。

基本配方　含MoO_3和NiO作为加氢活性组分，特殊加工制备的超稳Y型分子筛为裂化酸性组分，以氧化铝为载体，还含有少量的五氧化二磷作为助催化剂。

性状　呈黄绿色条状颗粒，外形尺寸为ϕ(1.5～1.7)mm×(3～10)mm，堆积密度720～850kg/m^3，抗压强度＞14.7N/粒，磨损率＜1%(质量)，比表面积260～320m^2/g，孔容0.33～0.40cm^3/g。

催化活性：＜320℃馏分收率55.0%～56.0%（质量）。

评价条件：温度380℃，压力14.7MPa，体积空速1.5h^{-1}，氢油比（体积）1500。

原料：胜利90%VGO与10%CGO混合料（VGO即减压瓦斯油，CGO即焦化瓦斯油）。

制法　采用新工艺制造，即将分子筛干粉与金属组分、粘合剂及氢氧化铝干粉等混合，经捏合机捏合并挤压成型，再经干燥、煅烧制得催化剂。

使用条件　典型操作条件为：反应温度384.1℃，压力17.73MPa，体积空速1.18h^{-1}，氢油比（体积）1050。

在此条件下，以胜利VGO与CGO的混合原料（以VGO:CGO=9:1混合），反应得单段转化率62.9%(质量)，C_5^+液收95.04%(质量)，各产物收率为LPG3.39%(质量)，轻石脑油18.09%(质量)，重石脑油13.48%(质量)，航煤41.26%(质量)，轻柴22.21%(质量)。

生产厂家　抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05504　**3825轻油型加氢裂化催化剂**　hydrocracking catalyst 3825 for light oil

简要说明　是一种轻油型加氢裂化催化剂，曾获国家科技年进步二等

奖和中石化科技进步一等奖。本催化剂具有良好的加氢裂化活性，抗氮及热稳定性均很好，可经反复多次再生使用。许多性能均优于进口催化剂。主要用于以减压侧线馏分油，特别是高含硫、氮及芳烃的劣质重油为原料，生产石脑油的加氢裂化装置，也可用于生产航煤及柴油。已在上海石化股份有限公司及辽阳化纤公司等的多套大型加氢裂化装置上使用多年，表明具有良好的活性、选择性和稳定性，并具有较广的适用范围。催化剂型号 3825。

基本配方 以钼和镍为活性组分，还含有超稳 Y 型分子筛和氧化铝。

性状 呈黄绿色条状颗粒，外形尺寸为 ϕ1.6mm×(3～8)mm，堆积密度 710～810kg/m^3，抗压强度＞12.7N/mm，磨损率≯1.5%(质量)，比表面积≮250m^2/g，孔容≮0.20cm^3/g。

催化活性：产品油中＜177℃馏分收率不小于 60%。

评价条件：温度 373～375℃，压力 14.7MPa，体积空速 1.65h^{-1}，氢油比（体积）1500。

原料：胜利 VGO（减压瓦斯油）。

制法 将金属组分和超稳 Y 型分子筛与氧化铝一起混合，并经捏合后，挤压成型，再经干燥、煅烧即得成品催化剂。

使用条件 典型操作条件为：反应温度 373.7℃，氢气分压 14.7MPa，体积空速 1.34h^{-1}，氢油比 1107（体积）。

在此条件下，反应结果为：单段转化率 63.61%(质量)，LPG22.32%(质量)，轻石脑油 9.39%(质量)，重石脑油 52.03%(质量)，航煤 13.70%(质量)，产物含氮 4.85×10^{-6}。

原料：大庆混合油（含氮 562×10^{-6}、硫 2120×10^{-6}）。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05505 焦化柴油加氢裂化催化剂 hydrocracking catalyst for coker diesel

简要说明 具有良好的加氢裂化活性和稳定性，同时还具有良好的异构化活性及航空煤油的选择性。

主要用于由焦化柴油生产优质航空煤油的加氢裂化装置，是 3843 催化剂的更新换代产品，航空煤油（130～240℃）的产率可高

料，本催化剂具有良好的活性、稳定性和可再生性，还具有较强的抗有机氮化物及氨中毒的能力。产品型号 3882。

基本配方 采用一种特制的分子筛作为催化剂载体，以钨和镍作为活性组分，即 W-Ni-REUSY-Al_2O_3。

性状 条形，外形尺寸为 ϕ(1.6～1.7)mm×(3～8)mm，堆积密度 770～830kg/m^3，抗压强度＞13N/mm，磨损率＜1 %(质量)，比表面积≥300m^2/g。催化活性：＞350℃ 馏分转化率 30%～50 %(质量)。

评价条件：温度 380℃，压力 6.37MPa，体积空速 2.0h^{-1}，氢油比（体积）1000。

原料：胜利 VGO 减压瓦斯油，干点＜500℃。

制法 把金属组分钨和镍载到载体上，再经干燥、煅烧制得催化剂成品。

使用条件 典型操作条件为：反应温度 367℃，氢气分压 6.40MPa，体积空速 1.7h^{-1}，氢油比（体积）600～1000。在此条件下，反应结果为产率%(质量)汽油 15.16，轻柴 26.14，蒸汽裂化原料 61.17。

产品性能：BMCI＜20，一次通过乙烯收率＞26 %(质量)。

原料：胜利 VGO，干点＜500℃。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05507 **3903 型中间油型加氢裂化催化剂** middle oil type hydrocracking catalyst 3903

简要说明 具有高的加氢裂化活性。在相同的单程转化率和相同的技术条件下，所需的反应温度较低。是新一代通用性良好的加氢裂化催化剂，可作为 3824 催化剂的换代产品。本产品的性能稳定，各项指标已达到国外同类产品 HC-26 的水平。首次工业应用是 1993 年在金陵石化南京炼油厂的 80 万吨/年加氢裂化装置上。多年来的工业应用实践证明，本产品的性能优于原来所用的进口催化剂 HC-16。现已在多套装置上得到应用。

本产品可广泛地应用于各类加氢裂化装置中，主要适用于以减压侧线馏分为原料或减压侧线馏分与其他重质油的混合物作为原料，生

产喷气燃料及柴油等中间馏分油品的加氢裂化装置中。产品型号3903。

基本配方 采用超稳分子筛、无定型硅酸铝和大孔氧化铝的混合物作为载体，主要活性组分为镍和钨，即 W-Ni-USY-SiO_2-Al_2O_3。

性状 条形颗粒，外形尺寸为 ϕ(1.5～1.7)mm×(3～8)mm，堆积密度 750～850kg/m^3，抗压强度＞15N/mm，磨损率＜1.5%(质量)，比表面积≥260m^2/g，孔容＞0.28cm^3/g。

催化活性：＜320℃ 产品油收率＞55%，中间馏分油选择性＞70%。

评价条件：温度 361℃，压力 14.7MPa，体积空速 1.5h^{-1}，氢油比(体积)1500。

原料：胜利 VGO(减压瓦斯油)(320～550℃)。

制法 采用浸渍法制造，将载体浸渍在含活性金属组分的溶液中，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 典型操作条件为：反应温度 370.4℃，反应压力约 16MPa，体积空速 1.12h^{-1}，氢油比（体积）1035。

在此条件下，反应结果为：产品收率%(质量)轻石脑油 15.84、重石脑油 15.70、喷气燃料 42.08、柴油 22.60。

原料：VGO 与 20%Oman 油的混合物。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

05508 3905 轻油型加氢裂化催化剂 hydrocracking catalyst 3905 for light oil

简要说明 是一种中压型加氢裂化催化剂，可在较低的压力下(＜10MPa)使加氢裂化反应进行。该催化剂具有良好的活性、较强的抗氮性（原料中氮含量的容许值可达 20×10^{-6}）、较好的开环选择性和较好的稳定性。

用于由轻减压侧线馏分油生产石脑油、柴油、裂解制乙烯原料及润滑油调和油等，也用于由劣质柴油、轻石蜡油中压加氢改质生产优质柴油，同时副产石脑油及裂解制乙烯原料的过程。产品型号 3905，可作为 3825 型的换代产品。

基本配方 采用改性的 Y 型分子筛作为载体，以钨和镍作为主要活性组分，即 W-Ni-Al_2O_3-SSY。

性状 条形颗粒，外形尺寸为 ϕ(1.5～1.7)mm×(3～8)mm，堆积密度 700～800kg/m^3，抗压强度≮13N/mm，比表面积≮380m^2/g，孔容≮0.25cm^3/g。

催化活性：＜350℃馏分产率＞≥60%(质量)。

评价条件：温度 370℃，压力 7.8MPa，体积空速 1.6h^{-1}，氢油比(体积)1500。

原料：胜利 VGO(减压瓦斯油)(320～530℃)。

制法 采用浸渍法制造，将载体浸渍在含活性组分的溶液中，载上活性金属组分，然后再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 典型操作条件为：反应温度 370℃，反应压力约 7.8MPa，体积空速 1.6h^{-1}，氢油比 1500 (体积)。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂。

05509 **RT-5 型中压加氢改质催化剂** medium pressure hydro upgrading catalyst RT-5

简要说明 中压加氢改质是指使双环或多环芳烃中的一个芳环先加氢饱和，然后开环生成低凝柴油、优质重整料、乙烯料和喷气燃料的过程。中压加氢改质技术是重质油轻质化技术的发展，它的原料可以是重油催化裂化柴油，特别是中间基和环烷基油的重油催化裂化柴油，不仅安定性差，而且十六烷值很低，常规的加氢精制难以达到柴油质量标准。这种重油催化裂化柴油与常压三线及减压一线混合柴油进行改质可生产出高芳烃潜含量重整原料、-35 号低凝柴油、优质乙烯原料及喷气燃料。对中压加氢改质催化剂的要求是：具有一定的芳烃饱和性及抗氮能力，具有较强的开环及裂化功能和良好的选择性，异构化活性低。

RT-5 型中压加氢改质催化剂性能优良，并具有良好的活性稳定性及较长的运转周期，适用于以催柴混合油为原料，进行中压改质，生产出高芳潜重整原料、低凝柴油、柴油调和组分、优质乙烯原料等多种产品，比 RT-1 型加氢裂化能力强。

基本配方　以镍、钨为主要活性组分，添加 HY 酸性组分以增加裂化功能，载体氧化铝经过特殊的化学处理，增加表面 B 酸中心数。化学组成：WO_3 (20±4)%，NiO (4.5±1)%。

性状　压碎强度＞20N/mm，比表面积＞150m^2/g，孔容＞0.2cm^3/g。

催化活性：总脱硫率＞95%，总脱氮率＞99%，在采用重催轻柴混合油为原料时，得到液收 98.55%(质量)，总中间馏分收率 59.67%(质量)，转化率 40.1%(体积)，-35 号低凝柴油 41.04%(质量)，石脑油 18.39%(质量)，中柴油组分 39.12%(质量)。

标定条件：高分压力 8.20MPa，反应温度 384.7℃，体积空速 2.95h^{-1}，入口氢油比 1242 (体积)。

制法　选择具有合适孔分布的氧化铝作为载体，对载体进行一定的处理，在载体上担载上活性组分钨、镍等，引入一定量的 HY 分子筛，经干燥、煅烧等处理过程制得成品催化剂。

使用条件　反应温度 375～385℃，高分压 8.0～8.5MPa，体积空速 1.0～1.6h^{-1}，氢油比 1000～1300 (体积)。

生产厂家　长岭炼油化工总厂催化剂厂。

第六节　其他石油加工催化剂

05601　Y 型分子筛　Y type molecular sieve

简要说明　也称为人造泡沸石，是一种应用广泛的催化剂或催化剂载体。Y 型分子筛在结构上和天然八面沸石相似，低硅 Y 型分子筛的硅铝比为 3～3.9，高硅 Y 型分子筛的硅铝比在 4 以上。随着分子筛硅铝比的增加，Y 型分子筛的热稳定性也相应提高。Y 型分子筛具有较强的酸性，作为固体酸催化剂使用具有较高的活性。用稀土改性制得的 REY 型分子筛具有更强的裂化活性，经高温下热处理或脱铝补硅等工艺制得的超稳 Y 型分子筛热稳定性和水热稳定性都有相当大提高。

本产品是催化裂化催化剂的基本成分，特别是稀 Y 型分子筛已广泛用于制备裂化催化剂。超稳 Y 型分子筛不仅用于重质油的催化裂化，也常用作为较重馏分油的中压加氢裂化催化剂的酸性组分。根

6)mm 及 ϕ(4.5～5.0)mm×(3～8)mm，堆积密度约 500kg/m^3，抗压强度≥2400kPa，比表面积约 120m^2/g，孔容约 0.3cm^3/g。

催化活性：(以吸苯量表示) ≥130mg/g。

制法　以水玻璃、偏铝酸钠等为原料，加入硅铝凝胶模板剂，经合成晶化后，迅速用水洗涤。得到的 13X 分子筛用含铜溶液进行交换，然后经干燥、成型及活化等过程制得催化剂成品。

重要工艺参数：合成晶化，温度 96～98℃，洗涤用 50～60℃的水洗涤，洗至 pH 为 9，干燥温度 100～120℃，活化温度 500～550℃。

使用条件　压力：常压～4.0MPa。

生产厂家　金陵石化公司南京炼油厂。

05603　脱氯催化剂（系列）chlorine removing catalyst (series)

简要说明　某些物料中含有氯化物，可能会给后续过程造成不良影响。如重整余氢常经压缩后循环使用，但当它含氯时常会造成压缩机中产生盐块堵塞，需要脱除。

本产品主要用于原料油或原料气中含氯化合物的脱除，以避免下游设备、管件的腐蚀及催化剂的中毒。催化剂的最大特点是可在常温、常压及高空速下脱除气体（如重整余氢）中的氯。

催化剂型号有：3925、NC 及 2303。

基本配方　主要含有氧化铝、钙等。

性状

	牌号		
	3925	NC	2303
颗粒形状	条形	粉红色球状	灰白色球状
外形尺寸/mm	ϕ(1.5～1.7)×(5～8)	ϕ3～ϕ5	ϕ3～ϕ6
堆积密度/(kg/m^3)	750～850	800	900～1200
抗压强度/(N/mm)	≥10	>30	≥100
比表面积/(m^2/g)	≥230	>30	约 100

催化活性：3925 型：含 HCl1000×10^{-6}的气体，经 3925 催化剂在常温、常压及空速 1000h^{-1}条件下处理，出口气含氯≤1×10^{-6}，氯穿透容量≥8.0%(质量)。

制法　采用浸渍法。将氧化铝载体浸渍上钙等组分，再经干燥、煅烧等步骤制成成品催化剂。

使用条件

	牌号		
	3925	NC	2303
反应压力/MPa	常压	0.1～5.0	常压～20
反应温度/℃	常温	200～400	200～400
气体空速/h^{-1}	1000	＜5000	500～3000
液体空速/h^{-1}			3～30
适用场合	重整氢	合成气 芳烃	合成气、石脑油

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂、南京化学工业集团有限公司催化剂厂、南京化工大学等。

05604 **T系列脱氯催化剂** chlorine removing catalyst, T

简要说明 T系列脱氯催化剂主要有T406、T407、T408及T409型。其中T406型脱氯催化剂是在常温条件下使用的一种脱氯剂，主要用于液态烃、混合苯等液体原料以及各种气体中氯化物的脱除。由于T406同时也有脱硫的作用，若原料中含有大量的硫时，会使该剂的氯容量受影响。T407型脱氯催化剂适应性强，应用范围广，既可在不同温度及压力下，又可在较为广泛的气源中进行脱氯。除了用于氢气、氮气、合成气、一氧化碳、二氧化碳等气相中氯的脱除，还可用于甲苯等原料中氯的脱除，尤其适于做蒸汽转化、低温变换及甲烷化等反应催化剂的保护剂，可将原料气中微量HCl[$(1\sim1000)\times10^{-6}$]在常温～250℃下脱除至＜0.2×10^{-6}。T408型在T407型应用范围基础上，又可用于石脑油、焦化干气及制氢装置中氯的脱除。其出口净化度≤0.2×10^{-6}。T409型具有很好的脱氯选择性，原料中的硫不影响它的氯容，可用于重整余氯的脱氯。

基本配方 主要含有氧化铝和一些金属氧化物等。

性状

	型号		
	T406	T407	T408
外观	黑色条状	灰色条状	灰色条状
外形尺寸/mm	$\phi3\times(3\sim8)$	$\phi4\times(4\sim10)$	$\phi4\times(4\sim10)$
堆积密度/(kg/m^3)	700～800	900～1100	700～900
破碎强度/(N/cm)	＞60	＞60	＞50
穿透氯容/%(质量)	＞18	＞20	≥25

活性：T406 型在常温、气体空速 1000～3000h^{-1}时，用于重整余氢脱氯，当气体含氯＜1000×10^{-6}时，出口含氯小于 0.2×10^{-6}。

制法 采用浸渍法。以氧化铝为载体，经浸渍载上活性组分，再经干燥、煅烧等步骤制成成品催化剂。

使用条件 T406 型：温度为常温～150℃，压力为常压～4.0MPa，空速为气 2000h^{-1}，液 1～5h^{-1}。

T407 型：温度为常温～250℃，压力为常压～4.0MPa，空速为 1000～3000h^{-1}。

T408 型：温度为 200～400℃，压力为常压～4.0MPa，空速为≥3000h^{-1}。

生产厂家 西北化工研究院催化剂公司。

05605 **柴油降凝催化剂** catalyst for lowering condensation point of diesel fuel

简要说明 本产品主要用于柴油的非临氢降凝生产低凝点柴油。它是在非临氢的条件下，采用具有形状选择性的高硅分子筛催化剂，选择性地使长链正构烷烃和少侧链烷烃发生裂化反应，而保留环烷烃、多侧链烷烃及芳烃不变，从而达到降低馏分油凝点，使高凝点的重质含蜡油转化为低凝点的轻柴油。由于不临氢故可用于没有氢气来源的中小型炼厂。积炭可能比临氢操作严重些，但由于高硅沸石孔结构的特点，限制了焦炭前身物在孔内形成，与 Y 型沸石等相比，不太易产生积炭，故可维持较长的反应周期。产品型号 CTL-1。

基本配方 CTL-1 催化剂主要成分是 AF-5 沸石和一定量胶粘剂氧化铝。AF-5 沸石是一种 ZSM-5 沸石，分子式为：$(0.9\pm0.2)M_{2/n}O\cdot Al_2O_3\cdot 5\sim300SiO_2\cdot 0\sim40H_2O$，式中 M 为阳离子，n 为阳离子价数。

性状 AF-5 沸石：SiO_2/Al_2O_3（摩尔比）约 60，结晶度＞80，钠含量＜0.2%(质量)，吸附容量/g/100g 为正己烷＞9.5，水＞6.5。

CTL-1 催化剂：粒度 ϕ1.85mm×(1～10)mm，堆积密度约 700kg/m^3，比表面积＞250m^2/g，抗压强度＞98kg/cm，粉化度＜0.1%（m）。

制法 以水玻璃和硫酸铝等为原料，以乙胺为模板剂，在一定温度、

ϕ(4.0±0.05)mm×(4.0~7.0)mm、ϕ(3.0~3.5)mm×(3.0~6.0)mm、ϕ(2.0~2.5)mm×(3.2~6.0)mm；球状为ϕ1.5~ϕ2.0mm、ϕ2.0~ϕ3.0mm、ϕ3.0~ϕ4.0mm、ϕ4.0~ϕ5.0mm、ϕ5.0~ϕ6.0mm，堆积密度600~900kg/m^3，比表面积约200m^2/g，孔容约0.4cm^3/g。

制法　(1) 高温快脱法：将氢氧化铝（水合氧化铝）经高温快速脱水、成型、水热处理及干燥后制得成品。

(2) 炭化铝胶法：将氢氧化铝和氢氧化钠混合，再经中和、二氧化碳碳化、水洗、压滤、干燥、粉碎、捏合、挤条、干燥、煅烧等过程制得成品。

(3) 喷雾干燥法：将氢氧化铝与工业硫酸反应，再经碱液中和、水洗、喷雾干燥、煅烧等过程制得成品。

(4) 油柱成型法：将铝锭用工业盐酸溶解，再经油柱成球、水洗、干燥、煅烧等过程制得成品。

制备过程中各种条件，特别是沉淀条件对产品的晶型、表面积、孔结构等影响很大，一般地，低温、低pH值下易得到无定形氢氧化铝及拟薄水铝石，高pH值易生成三水铝石。拟薄水铝石在430~500℃下，煅烧得到γ-Al_2O_3，β三水铝石在300℃煅烧得到η-Al_2O_3。

生产厂家　温州化工总厂氧化铝分厂、山东铝业公司、江苏泰县化工助剂厂等。

05607　活性支撑催化剂　active support catalyst

简要说明　当以二次加工油（如二次加工汽油、柴油）和减压瓦斯油等为原料进行加氢操作时，原料中所含烯烃及二烯烃等在高活性的加氢催化剂顶部会发生迅速的结焦等反应，引起床层压降增大。如果在反应器顶部瓷球部位放入一层低活性的本剂，可使烯烃，尤其是二烯烃加氢饱和后再与主催化剂接触，从而有效地防止了主催化剂结焦，延长开工周期。

本催化剂型号为CH-10型，用作为加氢催化剂的活性支撑剂，使原料中烯烃及二烯烃加氢饱和，防止高活性的主催化剂结焦，延长操作周期。

基本配方　主要活性组分钨和镍，其中 $WO_3$10.6%，NiO1.2%，余量为 Al_2O_3。

性状　外观为三叶草形，外形尺寸为 ϕ3.6mm，堆积密度 900kg/m^3，抗压强度大于 300N/cm，比表面积 140m^2/g，孔容 0.30cm^3/g。

催化活性：烯烃饱和率＞90%，脱硫、脱氮率＞42%。

评价条件：温度 320℃，氢分压 3.0MPa，空速 3.0h^{-1}，氢油比（体积）350。

制法　将特制的氧化铝载体浸渍于含活性组分的溶液中，载上活性组分后经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件　反应温度 300～390℃，反应压力 2～6MPa，空速 1～3h^{-1}，氢油比（体积）300～500。

生产厂家　长岭炼油化工总厂催化剂厂。

参　考　文　献

1　林世雄　石油炼制工程．北京：石油工业出版社，1988

2　陆庆云．流化催化裂化．北京：烃加工业出版社，1989

3　化学工业出版社组织编写．化工产品手册．新领域精细化学品．北京：化学工业出版社，1998

4　朱洪法．石油化工催化剂基础知识．北京：中国石化出版社，1995

5　化学工业出版社组织编写．中国化工产品大全（下卷）．北京：化学工业出版社，1994

6　抚顺石化公司催化剂厂产品介绍（英文版），1998

7　郑铁年　石油化工．1996，25(11)：806

8　张正义，张继光．工业催化．1998，6(4)：43

9　董力军．工业催化．1999，7(6)：27

10　宗宝宁，罗一斌，舒兴田等．石油炼制与化工．1999，30(5)：5

11　杨建，刘环昌．石油炼制与化工．1999，30(2)：6

12　胡颖，罗一斌，舒兴田等．石油炼制与化工．1999，30(2)：10

13　董力军．工业催化．2000，8(2)：34

14　施至诚．工业催化．1996，4(2)：30

15　张继光．工业催化．1999，7(2)：38

16　郑淑琴，张永明，唐容容等．工业催化．1999，7(2)：32

17　迟继运．工业催化．1994，2(2)：39

18　干文婷，杨凡．工业催化．1999，7(2)：47

19　马巳奥，陈忠基，杜平．精细石油化工进展　2000，1(3)：43

20　朱国宏，沈文华，侯耀暄等．石油炼制与化工．1999，30(2)：1

21 齐铁忠. 工业催化. 2000, 8 (1):43
22 刘纪端, 魏登凌 工业催化. 1999, 7 (3):34
23 孙素华, 方维平, 王永林等. 工业催化. 1999, 7 (3):42
24 黄阜生, 金东生. 工业催化. 1999, 7 (3):50
25 张学军, 李锡均. 工业催化. 1999, 7 (5):44
26 张信, 张觉吾, 肖云. 工业催化. 1997, 5 (2):38
27 方维平, 王家赛, 傅泽民等. 工业催化. 1997, 5 (2):34
28 彭炎, 孟祥兰, 张立休. 工业催化 1997, 5 (2):38
29 周佩玲. 石油化工. 1997. 26 (8):540
30 张继光. 工业催化. 1995, 3 (3):49
31 张继光. 工业催化. 1995, 3 (2):56
32 那旭东. 工业催化. 1999, 7 (1):61
33 戴坤泉, 罗绵宝, 夏德林等. 工业催化. 1999, 7 (4):41
34 庞新梅, 林松柏, 唐容容. 石油炼制与化工. 1996, 27 (11):34
35 石燕. 石油炼制与化工. 1996, 27 (10):37
36 彭企铸, 王继锋, 韩崇仁. 石油炼制与化工. 1996, 27 (12):18
37 章砚萍, 李丽娟. 石油炼制与化工. 1996, 27 (12):22
38 孙剑利. 石油炼制与化工 1996, 27 (12):27
39 孙作霖, 张大庆. 石油炼制与化工. 1996, 27 (8):1
40 赵文弟. 工业催化. 1998, 6 (1):44
41 皱颂溪 工业催化. 1997, 5 (1):39
42 皱颂溪, 张继光. 工业催化. 1997, 5 (4):37
43 孙佳楠, 王刚, 方维平. 工业催化. 1998, 6 (1):15
44 万学兵. 工业催化. 1997, 5 (1):45
45 王刚, 方维平, 韩崇仁. 工业催化. 2000, 8 (1):27
46 赵文弟, 毕文波. 工业催化. 1998, 6 (6):42
47 方维平, 孙素华等. 工业催化. 1998, 6 (2):34
48 Kang Benchang et al. Appl Catal. 1988, 45: 22
49 陈大跃, 胡先念. 工业催化. 1999, 7 (6):40
50 B. K 涅费多夫等著. 原油深度加工过程催化剂. 李奉孝, 黄志渊译. 北京: 中国石化出版社, 1995
51 陈俊武等. 催化裂化工艺与工程. 北京: 中国石化出版社, 1995
52 李承烈, 李贤均等. 催化剂失活. 北京: 化学工业出版社, 1989
53 张永顺等. 石油炼制与化工. 1999, 30 (8):5
54 Jan P J Verlaan. 第十五届世界石油大会论文集. 北京: 1997, 471
55 Occell M L. Catalysis Review 1991, 33: 242
56 刘忠杰, 李希宏等. 石油炼制与化工. 1998, 29 (3):529
57 黄星亮, 冯长辉, 靳广州等. 石油炼制与化工. 1996, 27 (8):17

58　吴辉，朱泽霖　石油炼制与化工，1996，27(8)：57
59　郑嘉惠．石油炼制与化工　1996，27(12)：6
60　苏勇　石油化工．1998，27(3)：197
61　李凤艳，赵天波，萨学理等．石油化工．1996，25(6)：433

第六章　石油化工催化剂

第一节　概　　述

石油化工是指以石油为原料生产各种有机产品的化学工业过程。这些产品包括烯烃、炔烃、芳烃、醇、醛、酸、酮、酯、环氧化合物、含氮化合物等，它们是高分子化工的单体，也是合成洗涤剂、表面活性剂、染料、医药、农药、香料、涂料等的原料及中间体。还有一些产品本身就可以作为最终产品得到应用，如各种溶剂、萃取剂、增塑剂等助剂，汽油等油品的添加剂等。所以石油化工是重要的基础化学工业，它为化学工业及国民经济各工业部门的发展提供了重要的物质基础。利用其下游深加工过程得到的各种精细化学产品或专用有机化学产品，对于提高经济效益，满足人民的需要都有重要意义，近年来得到了很大发展。

石油化工中使用的催化剂种类繁多，有酸碱催化剂、金属催化剂、金属氧化物催化剂等。催化剂有单一组分的，也有由几种至十几种元素组成的复合型催化剂。不同工厂所生产的产品不同、化工过程不同、工艺不同，所用的催化剂是不同的。即使是用同一过程、同一工艺、生产同一种产品，也会有不同的催化剂在不同的工厂中同时被使用着。催化剂的使用量很少，但其好坏却在很大程度上影响着工厂的经济效益。催化剂的使用性能好坏，不但与催化剂的配方及制造方法有关，也与催化剂的使用是否得当有关。催化剂的使用者应对催化剂的性能及使用条件等有充分的了解，才能够用好催化剂，使催化剂的催化效能充分发挥出来。

石油化工涉及各种化学反应，其中大多数需要使用催化剂才能进行，它们包括加氢、脱氢、氧化、水合、烷基化、异构化等。

一、催化加氢

石油化工中的加氢反应主要用来把不饱和键加氢成为饱和键及芳

环加氢、含氧化合物加氢和含氮化合物加氢等，包括苯加氢制环已烷、炔烃的加氢、苯酚加氢制环已醇、一氧化碳加氢制甲醇、腈类加氢制胺、硝基苯加氢合成苯胺、糠醛加氢制糠醇等反应。常用的加氢催化剂有金属催化剂、骨架金属催化剂、金属氧化物催化剂及配位络合催化剂。

金属催化剂在加氢中用的最为普遍，常用的金属催化剂为 Ni、Pd、Pt 等。其中贵金属催化剂活性好，但价格偏贵；含镍催化剂也有较好的活性，因而使用量最大。通常把金属担载在载体上使用，这样不仅节省金属用量，而且可增大比表面、提高催化剂的机械强度及耐热性能。金属催化剂的特点是活性高，在较低的温度下就可进行加氢反应，而且几乎对所有不饱和的基团都能进行加氢，因而使用广泛。但金属催化剂对毒物敏感，原料中含有的某些少量杂质都可能使催化剂中毒。另外，相对来说，金属催化剂也比较容易烧结。所以，在金属催化剂使用中，要注意除去原料中的杂质，并注意反应温度是否合适。

骨架金属催化剂中最常用的是骨架镍，也称为雷尼镍（Ranev Ni)。此外，还有骨架铜、骨架钴等。骨架催化剂活性很高，骨架镍置于空气中就能自燃。骨架催化剂也具有很好的机械强度，可应用于各种类型的加氢反应中。但是骨架催化剂在制造过程中会产生大量废液，污染环境，因而近年有用其他催化剂取代的趋势。

金属氧化物催化剂用于加氢时，可以是单一组分的（如 ZnO 等），也可以是多组分的混合或复合氧化物（如 $CuO\text{-}Cr_2O_3$ 等）。金属氧化物催化剂主要用于醛、酮、酸、及一氧化碳等的加氢。金属氧化物的加氢活性比金属催化剂差，需要较高的反应温度和压力。由于所用的反应温度较高，金属氧化物催化剂中通常要添加结构型助催化剂，以提高其耐高温性能。金属氧化物催化剂具有较好的抗中毒能力，因而可用于原料中含杂质较多的场合。

配位络合催化剂主要指由络合物及过渡金属盐类等组成的催化剂，其中有固体的催化剂，也有液体的催化剂。液体的催化剂主要用于均相的催化反应中，在本书中已有专章介绍。

近年来，新的加氢催化剂不断涌现，如无定型合金、金属间化合

物及固体担载的络合物或金属原子簇催化剂等，这必将会进一步促进石油化工加氢过程及工艺的发展。

二、催化脱氢

催化脱氢是催化加氢的逆反应，它主要应用于低级烷烃脱氢制相应的烯烃、烯烃脱氢制相应的二烯烃、烷基芳烃脱氢制烯基芳烃、环烷烃脱氢制相应的烯烃或芳烃、醇脱氢制相应的醛或酮等。脱氢反应在热力学上不利，需要在高温和低压下进行。但在高温下热脱氢时，裂解反应在热力学上和动力学上均比脱氢有利，所以得到的主要是裂解产物。采用催化剂就可以使热力学上处于不利地位的脱氢反应，在动力学上占优势，从而使脱氢反应得以进行。

既然脱氢是加氢的逆反应，那么加氢的催化剂也是良好的脱氢催化剂。但由于在热力学上要求脱氢反应在较高的温度下进行，这就需要催化剂能耐较高的温度。通常氧化物催化剂比金属催化剂耐热性高，因此氧化物催化剂在脱氢中用的更普遍一些。主要有（1）氧化铬系催化剂。它具有较好的活性，并且具有较好的热稳定性，也可作为结构型助催化剂使用。但由于铬的毒性较大，现在已逐渐被其他催化剂所取代。(2) 氧化铁系催化剂。这类催化剂的活性较好，是目前工业上脱氢的重要催化剂。(3) 氧化锌系催化剂等。

脱氢反应由于产生烯烃等不饱和烃，因而具有强烈的积炭倾向。为防止积炭，延长操作周期，一方面要通过加入助催化剂改善催化剂的抗积炭特性，另一方面要在工艺上采用一些防止积炭的措施。在工艺上的措施通常有临氢和在水蒸气下反应两种。由于临氢从热力学上对脱氢反应不利，所以实际工业上多采用在水蒸气存在下进行脱氢反应。对少数催化剂，水会引起催化剂中毒，这时就不能在水蒸气下进行反应。

对于烯烃脱氢制取二烯烃的过程，受热力学平衡限制较强，转化率较低，且积炭严重（烯烃、二烯烃都有很强的积炭倾向）。这时采用氧化脱氢非常有利，既可以提高转化率，又可以减少积炭的影响。由于烯制取丁二烯，就广泛地采用氧化脱氢工艺。

三、催化氧化

催化氧化是石油化工中一类重要反应，许多石油化工产品都是通

过催化氧化制取的。催化氧化的产品主要有醇、醛、酸、酮、酸酐、环氧化物及醋酸乙烯，此外还有氨氧化的产物腈及氯氧化的产物氯代烯烃等。催化氧化可分为多相催化氧化和均相催化氧化两类，由于均相催化剂已有专章论述，本章只涉及多相催化氧化用的固化催化剂。

与石油化工的其他过程一样，氧化催化剂的性能对催化氧化过程影响很大，是技术进步的关键因素。烃类氧化的最终产物是二氧化碳和水，所需的目的产物都是氧化的中间物，所以也称为选择性氧化，对催化剂的选择性有较高要求。

氧化反应是强放热反应，传热和传质都非常重要。所用的反应器通常有硫化床反应器和列管式固定床反应器两种。硫化床反应器温度均匀、传热效率高，反应在接近等温下进行。另外，由于促进了扩散过程，有利于反应进行，催化剂效率较高。但硫化床反应器返混严重，因而可能会使副反应增多，催化剂的磨损也是一个问题。列管式固定床反应器是由数百至数千根反应管并置而成，管外用导热体（联苯-联苯醚或熔融盐等）取走反应热。在反应管内轴向和径向都有温度分布，有时可能产生较大温差，影响反应选择性，严重时可能会破坏反应的正常进行。采用什么反应器要根据反应及所用的催化剂确定，一般强放热反应宜选用硫化床反应器。

氧化所用的催化剂主要是含有多种组分的金属氧化物催化剂，有时甚至含有十几种组分。主要有含钼、铋、锑、钴、铁、锡、钒等的氧化物，还含有一些助催化剂，改善催化剂的活性、选择性及稳定性。

四、催化水合及脱水

烯烃水合目前是生产醇的主要方法，工业上广泛应用的主要有乙烯水合制乙醇和丙烯水合制异丙醇，也可以制备仲丁醇、叔丁醇等。烯烃水合制醇分为间接法和直接法两种。间接法是用硫酸作为催化剂；直接法又称为催化水合法，是采用固体酸作为催化剂。由于催化水合法避免了采用硫酸带来的腐蚀及废液的污染等问题，因而目前烯烃水合装置大部分都采用催化水合法。

水合反应除了烯烃水合制醇外，还有炔烃水合制醛或酮、环氧化

物水合制二元醇及腈水合制酰胺等。但由于由烯烃氧化制取醛、酮技术的发展，目前炔烃水合法已基本被淘汰。

水合的催化剂主要有无机酸类、氧化物类、杂多酸及离子交换树脂等。以硅藻土为载体的固体磷酸催化剂，长期以来一直是水合的主要催化剂，近年来对它进行了许多改进，以增强其活性及稳定性。磷酸催化剂最大缺点是它的腐蚀性和酸性组分的流失。杂多酸则显示了低腐蚀和长寿命的特点，因此具有很好的发展前景。离子交换树脂主要用于低温下的液相水合反应。

醇的催化脱水主要用于生产高纯度烯烃。该法生产过程简单，烯烃收率高，在生产规模不大时，此法有现实意义。例如，由叔丁醇脱水制异丁烯，可得到高纯度的异丁烯，它是生产丁基橡胶的重要原料。

五、芳烃的转化

芳烃的转化反应包括芳烃的歧化、烷基转移和异构化、芳烃的烷基化和脱烷基等。从催化重整、裂解汽油等中得到的芳烃，其品种和产量受原料组成的限制，可能会出现供需不相适应的情况。有些芳烃满足不了需要，而有些芳烃却有过剩。利用芳烃的转化反应就可以调整不同芳烃的品种和产量，以适应工业的需要。

芳烃的歧化指两个相同芳烃分子中，一个芳烃分子上的侧链烷基转移到另一个芳烃分子上去的反应。烷基转移是指两个不同芳烃分子之间发生烷基转移过程，它是歧化反应的逆反应。在石油化工中应用较广、意义重大的是甲苯歧化制二甲苯和 C_9 芳烃烷基转移制苯和二甲苯。在邻、间、对三种二甲苯中，一般间二甲苯的含量最多，而它的需要量却远小于对二甲苯和邻二甲苯（对二甲苯是生产聚酯的原料、邻二甲苯是生产邻苯二甲酸酐等的原料）。所以将间二甲苯转变为其他两种二甲苯是必要的，这就需要利用芳烃的异构化反应来实现。

芳烃烷基化是使芳环上的一个或几个氢被烷基取代的反应，是制取烷基苯的重要反应。在石油化工中，芳烃烷基化主要用来生产乙苯、异丙苯和长链烷基苯。芳烃脱烷基反应主要用于制取苯，其中特别是甲苯脱烷基尤为重要。随着需求的增加，芳烃的产量也日益增

大，与此同时形成了甲苯过剩的趋势。将甲苯脱烷基制取应用广泛的苯则具有重要的意义，特别对于苯资源不足而甲苯又较多的地区更是如此。

芳烃转化所用的催化剂主要为固体酸碱催化剂，包括润载酸类（如磷酸、三氯化铝、三氟化硼等担载于载体上）、硅酸铝、分子筛等。在催化脱烷基上则常用含有钴、铝及镍、镁等的金属氧化物作为催化剂。近年来，固体超强酸和新型分子筛催化剂用于芳烃转化取得较大进展，具有良好的前景。

此外，还有烯烃的齐聚、叠合、醚化、低碳烃的芳构化、烃的异构化及烷基化等反应过程。近年来，各类新型催化剂和新工艺层出不穷，石油化工在不断地高速发展。随着产品产量、质量和成本价格的竞争，作为石油化工技术中重要环节的催化剂势必成为人们关注的热点之一。石油化工所面临的新形势必将对催化剂的生产及研究提出新的更高的要求。

第二节　加氢催化剂

06201　苯加氢催化剂　benzene hydrogenation catalyst

简要说明　苯加氢制环己烷是石油化工中重要的催化加氢过程，目前已形成很大的生产能力，产物环己烷主要用于生产聚酰胺纤维（尼龙）和树脂，高纯度的环已烷也可作为溶剂和其他化工原料。

苯较难进行加氢，许多常用的加氢催化剂不适合用于苯加氢过程。苯加氢催化剂主要是 Pt、Pd、Ni、Ru、Rh、Co 等少数几种过渡金属，按专门工艺制造的催化剂。工业上常用的苯加氢催化剂主要是非贵金属的镍系催化剂和贵金属铂催化剂。镍系催化剂不仅能用于苯加氢过程，还可以用于其他过程，如工业粗乙烷加氢精制、白油加氢、不饱和脂肪烃的加氢及用作为液相高效脱硫作贵金属催化剂的保护剂。铂系催化剂活性高、使用寿命长，并且硫使之中毒后还可以再生。型号 NCG 为镍系催化剂。

基本配方　NCG 型以镍为活性组分，以氧化铝为载体。铂催化剂含铂 0.05%～0.55%，载体为 γ-氧化铝。

2.75±0.5。

性状　氧化态（未还原催化剂）外观浅绿色，预还原态（还原后）外观为黑色，呈圆柱形条状。外形尺寸/mm：氧化态ϕ5×(5～15)，预还原态ϕ(3.8～4.2)×(4.0～11.0)。堆积密度/kg/m^3：氧化态1000，预还原态850～900。还原前为非易燃易爆品，还原后未经钝化的催化剂，接触空气或其他含氧气体，发生自燃。机械强度>2.5MPa。

催化活性：产品中残苯酚含量<0.1%。

评价条件：常压，140℃，空速1500h^{-1}，氢气/苯酚（摩尔比）23，每立方米催化剂负荷苯酚150～200kg/h。

制法　采用硝酸化镍、烧碱化铝，得到的铝酸钠溶液和硝酸镍溶液进行中和反应，将形成的沉淀经水洗、压滤、碾压、挤条、干燥、过筛后即得氧化态产品；预还原态产品还需经过还原及钝化过程制得成品。

使用条件　反应温度130～150℃，压力常压～0.2MPa，氢气/苯酚（摩尔比）20～60，催化剂负荷苯酚100～200kg/(m^3·h)。

生产厂家　南京化学工业集团有限公司催化剂厂。

06203　**硝基苯加氢制苯胺催化剂**　nitrobenzene hydrogenation catalyst for making aniline

简要说明　硝基苯加氢是制造苯胺的主要方法。过去曾用铁屑作还原剂还原制苯胺，但由于反应中生成大量的铁泥（Fe_3O_4）污染环境，且不便于连续生产，现已多采用加氢方法由硝基苯生产苯胺。

本产品有两种型号：NC101型适用于硫化床反应器，NC102型适用于固定床反应器的加氢操作。

基本配方　NC101型以CuO为活性组分，以SiO_2为载体。NC102型以Cu为主要活性元素，以Cr_2O_3为主要载体。

性状

	型　号	
	NC101	NC102
外观	天蓝色微球	黑色圆柱体
外形尺寸/mm	ϕ0.64～ϕ1.27（占90%左右）	ϕ(4.8～5.2)×(4.0～5.5)

型号	NC101	NC102
堆积密度/(kg/m³)	400～800	1100～1400
比表面积/(m²/g)	约 350	
孔容/(cm³/g)	约 0.6	0.1～0.3

制法 NC101 型：将专用硅胶进行改性，然后浸渍含铜溶液，载上铜后再经干燥、煅烧等过程制得成品。

NC102 型：用硝酸溶化金属配制成混合溶液，共沉淀得到的固体颗粒经水洗、压滤、干燥、煅烧、混合、压片等过程制得成品。

使用条件

	型号	
	NC101	NC102
反应温度/℃	250～290	180～270
反应压力/MPa	常压～0.2	常压～5
空速/h⁻¹	0.15～0.45	0.2～0.8

由于该反应为放热反应，应注意控制温度，避免温度过高使催化剂烧结。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂，南京化工厂，吉林化学工业集团公司研究院。

06204 **脂肪酸加氢制脂肪醇催化剂** catalyst for hydrogenation of higher aliphatic acid to aliphatic alcohol

简要说明 用于高级脂肪酸或其酯加氢制取高碳醇。主要化学反应方程式：

$$RCOOR' + 2H_2 \longrightarrow RCH_2OH + R'OH$$

(R 为 C_{13}～C_{21}的烃基，R′为 C_{1-5}的烃基)

高碳醇是表面活性剂、合成洗涤剂和增塑剂等工业的重要原料，需求量较大。要求催化剂具有一定的活性、选择性和稳定性。催化剂的型号为 NC31-01 型及 NC31-02 型。

基本配方 以 CuO 为主要活性组分。

性状 外观为灰黑色圆柱体，外形尺寸为：ϕ(5.8～6.2)mm×(5.5～6.5)mm，堆积密度 1200～1600kg/m³。

制法 将铜用酸溶化，再加入其他组分配成溶液，经沉淀、老化、

水洗、压滤、干燥、碾压、煅烧、混合、压片等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 180～260℃，反应压力 10～25MPa，空速 0.05～0.3h^{-1}。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂。

06205 **丁炔二醇加氢催化剂** butynediol hydrogenation catalyst

简要说明 丁炔二醇加氢是制备1,4-丁二醇的主要方法，1,4-丁二醇主要应用于增塑剂、医药、聚酯和聚氨酯等方面。

本产品主要用于炔二醇加氢制相应的饱和二醇特别是丁炔二醇，也可用于其他炔烃在液固反应床中加氢。产品型号 BA-1 型。

基本配方 以氧化镍为主的多组分催化剂，预还原态的催化剂则以金属镍为主。

性状 外观黑色圆柱形颗粒，外形尺寸为：ϕ3.0mm×(2.8～3.5)mm，堆积密度 1000～1250kg/m^3，比表面积 100～180m^2/g，孔容 0.2～0.3cm^3/g，抗压强度（侧压）40～70N/粒。

制法 将镍盐等原料配制成溶液，用沉淀剂沉淀得到固体颗粒，经水洗、压滤、干燥、碾压、造粒、压片得到催化剂，预还原态催化剂还须经过还原及钝化过程。

使用条件 反应温度 100～150℃，反应压力 1.0～5.0MPa，液空速 0.1～0.5h^{-1}，氢/丁炔二醇＞10（摩尔比）。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂。

06206 **碳三选择加氢催化剂** catalyst for selective hydrogenation of C_3 fractions

简要说明 石油烃裂解分离得到的碳三馏分，一般含有 1.0%～3.5%的丙炔和丙二烯，当采用毫秒炉裂解时，丙炔、丙二烯含量可高达 6%～7%。为获得聚合级丙烯，避免炔烃及二烯烃对下游加工催化剂产生影响，需要除去这部分炔烃和二烯烃。通常采用液相选择加氢的方法，使炔烃和二烯烃选择性加氢，而不影响丙烯。

本催化剂型号 BC-L-83，可用于乙烯装置中的液相碳三加氢过

程，适用于单段床加氢工艺，也可用于双段床工艺。

基本配方 以钯为活性组分，以氧化铝为载体。

性状 外观为浅土黄色小球，外形尺寸为 ϕ2.5～ϕ5.0mm，堆积密度 850～950kg/m^3，抗压强度大于 49N/粒。

催化活性：产品丙炔含量＜5×10^{-6}，丙二烯含量＜5×10^{-6}，丙烯收率 0.2%～2.0%。

评价条件：入口反应温度 10～45℃，出口反应温度 55～65℃，反应压力1.0～2.8MPa，液体空速 50～150h^{-1}，H_2/C_3H_4 1.2～2.5（摩尔比），原料中 C_3H_4 含量≤2.5%（体积），采用单段床反应器。

制法 用硝酸法生产的氢氧化铝，粉碎到要求的粒度，用转鼓或转盘滚球机制成直径为 2.5～5.0mm 小球，再经养生、干燥、煅烧、载钯、干燥、活化等工序，即制得成品催化剂。

使用条件 入口反应温度 10～45℃，出口反应温度 55～65℃，反应压力 1.0～2.8MPa，液体空速 50～150h^{-1}，原料中 C_3H_4 含量≤2.5%（体积），可用于单段或串联双段床。

生产厂家 北京化工研究院。

06207 **加氢脱除二烯烃和炔烃催化剂** catalyst for removing dienes and alkynes by hydrogenation

简要说明 在裂解气的 C_4 馏分经萃取精馏抽提出丁二烯后，抽余油中含少量二烯烃及炔烃，对 C_4 抽余油中的丁烯等的下游加工产生不利影响，需要除去。另外，为了分离出高纯度的乙烯、丙烯等其他烯烃，也常需要采用选择性加氢的方法，只使原料气中的二烯烃和炔烃进行加氢，而目的产物烯烃不被加氢损失，或损失尽可能小。所以要求催化剂具有较高的选择性。

产品适用于 C_4 馏分或其他馏分中的二烯烃及炔烃脱除到 60×10^{-6}，但控制丁烯不发生变化。产品型号 BC-C_4-1 型。

基本配方 主要活性组分 Pd，载体 α-Al_2O_3。

性状 外观为黄棕色球形，外形尺寸为 2～3mm，堆积密度 800～1500kg/m^3，比表面积小于 100m^2/g，孔容 0.2cm^3/g，点压强大于 50N/粒。

催化活性：反应后 C_4 原料中二烯烃 + 炔烃小于 60×10^{-6}，选择性：1-丁烯收率（97%～99%）。

制法 将水合氧化铝在1000℃以上高温下煅烧得到 α-Al_2O_3，经喷浸上含钯组分溶液后，经干燥和煅烧得到催化剂成品。

使用条件 一段绝热或等温反应器入口温度 15～55℃，反应压力 0.98～2.74MPa，液体空速 $20\sim30h^{-1}$，氢气/(二烯烃 + 炔烃)为 1.0～1.5（摩尔比）。

原料气中含少量硫会使催化剂活性下降，可通过升高反应温度及加大氢烃比得到改善。如因较多硫化物使催化剂中毒，可以对催化剂进行再生。再生在 550℃ 下进行，使用氮气适当配入空气为再生气，再生时间一般 8h 左右。

催化剂使用前要加氢还原活化。

生产厂家 北京化工研究院。

06208 **碳四馏分选择加氢催化剂** selective hydrogenation catalyst of alkynes in C_4 cut

简要说明 石油热裂解产生的碳四馏分中含有 40%～50% 的1,3-丁二烯，是生产合成橡胶及树脂的主要原料，聚合级丁二烯要求纯度大于 99.7%，炔烃含量低于 2.5×10^{-5}。目前我国石化行业以二甲基甲酰胺（DMF）等为溶剂，用萃取精馏方法除去炔烃，但随裂解深度加大，碳四馏分中炔烃含量增加，导致二萃塔操作困难，丁二烯损失增大。如果在抽提装置之前加一个加氢反应器，使碳四馏分中的炔烃（乙基乙炔、乙烯基乙炔等）经加氢除至 1.0×10^{-5}，则可解决上述问题，并可把二萃部分取消，从而提高抽提装置的处理量。

本催化剂是碳四馏分加氢除炔烃专用催化剂，用于加氢与抽提串联并取消二萃的工艺过程中。

基本配方 采用氧化铝为载体，以 Pd 和 Pb 为活性组分。

性状 物理性质由所选载体 Al_2O_3 的性质决定，外形为球形。

催化活性：使剩余乙基乙炔及乙烯基乙炔的含量分别小于 1.0×10^{-5}，丁二烯损失小于 3%；

评价条件：反应温度 40～50℃，反应压力 0.8～1.4MPa，空速

$40h^{-1}$，氢炔比 6。

制法 将氢氧化铝小球煅烧后，制备出具有一定比表面的氧化铝载体，将活性组分的硝酸盐溶液喷洒到载体上，经干燥后进行煅烧，将硝酸盐分解为氧化物，即得到催化剂（氧化型）。

使用条件 反应温度 40～50℃，反应压力 0.8～1.4MPa，空速＜$40h^{-1}$，氢炔比 6～10。

反应前催化剂需要进行还原处理。

生产厂家 北京化工研究院。

06209 **骨架镍（雷尼镍）催化剂** raney nickel catalyst

简要说明 本品为常用的加氢催化剂，主要用于液-固加氢反应，可用于烯烃加氢、腈的加氢、羰基加氢等。也可用于脱氢、脱硫、脱卤等过程，广泛用于石油化工、油脂、医药、染料等工业。即可用于主催化过程，也可用于各类含不饱和烃的粗制产品的预精制。

本品对许多加氢过程都有较好的活性，但它在制备过程中用碱溶解铝时会产生较多的副产物，可能形成污染。

基本配方 含 Ni 25%～48%（通用型），其余为 Al。根据用户实际反应条件，也可加入其他少量元素，如 Fe、Cr、Mn 等。镍铝总含量≥95%。

性状 活化前为银灰色无定形粉末，在空气中稳定，遇水易结块，长期暴露于空气中易风化；活化后成黑色粉末；催化剂粒度20～200目、200～300目，其他粒度范围可根据用户要求提供；堆积密度 500～4000kg/m^3（与镍铝配比有关）。

制法 先将铝进行熔融，待温度达 1000℃左右时，加入镍粉，这时由于有熔化热产生，温度升到 1200～1300℃，用石墨棒不断搅动，保温 20～30min。经冷却、破碎、粉碎得到镍铝合金。

催化剂活化：在一定温度下，用一定浓度氢氧化钠溶液处理催化剂，将镍铝合金中的铝溶去，再经水洗、醇洗、钝化得到活化的催化剂。

使用条件 通常用于液相反应，温度＜90℃，在加压下也可高于100℃；压力常压～5MPa；空速依实际情况确定。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂，大连油脂化学厂、

基本配方 以氧化铝为载体，担载含 Mo、Ni、Co 等的氧化物。

性状

	型号		
	NCY106	3802	LY-8602
外观	蓝色圆柱形	灰蓝色条形	浅黑色圆柱形
外形尺寸/mm	ϕ1.5	ϕ1.6×(2～8)	ϕ4.8×(2.4～3)
堆积密度/(kg/m^3)	840～900	800～900	700～800
比表面积/(m^2/g)	200	约 200	约 150
孔容/(cm^3/g)	>0.34	>0.4	约 0.4

催化剂活性：在 2.5～5.0MPa、不大于 300℃、氢油比 300～500(体积比)、空速 2～3h^{-1}、原料油溴价（Br/油）0.5g/100g、油中胶质不大于 30mg/100g、双烯不大于（Br/油）2.5g/100g 的条件下，出口每 100g 油中，双烯不大于 0.1g 碘，溴价不大于 0.5g，总硫不大于 1.0×10^{-6}。操作周期 11 个月，抗压强度（径向）≥18N/mm。

制法 采用分步浸渍法制备，将氧化铝载体浸渍在含活性组分的溶液中，然后经干燥、煅烧等步骤。活性组分通过两次或多次浸渍、干燥、煅烧的步骤担载在载体上。

使用条件 反应温度 250～300℃，反应压力 5.0～5.5MPa，空速 1～2h^{-1}。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂，抚顺石化公司石油三厂催化剂厂，兰州化学工业公司研究院。

06213 **裂解汽油一段加氢低钯壳层催化剂** low palladium content shell-layer catalyst for the first stage hydrogenation of pyrolysis gasoline

简要说明 本产品具有很高的活性，作为裂解汽油一段加氢催化剂，可在较低的温度、压力及较大的空速下，使裂解汽油中的二烯烃加氢成单烯烃、烯基芳烃加氢成烷基芳烃。

型号 7701、7501、341、3793 及 8601 等。

基本配方 以氧化铝为载体，担载少量钯作为活性组分。7701 以 δ 型氧化铝作载体，含钯约 0.2%（质量）；7501 以 α 型氧化铝作载体，含钯约 0.5%（质量）；341 以 γ 型氧化铝作载体，含钯约 0.05%(质量)。

性状

	型号				
	7701	7501	341	3793	8601
外观	上褐色圆球	还原后呈灰黑色圆球	淡黄色球	圆柱状	圆柱状
外形尺寸/mm	$\phi3\sim\phi5$	$\phi3\sim\phi4$	$\phi3\sim\phi4$	$\phi4\times(3\sim4)$	$\phi4.8\times2.8$
堆积密度/(kg/m³)	600～700	600～700		800～900	约800
比表面积/(m²/g)	100～150	<40	50～70	100～130	约120
孔容/(cm³/g)	0.6～0.75	0.5～0.6		0.4	0.46
机械强度/(N/粒)	≥50	≥50	≥49	≥49	≥200 (N/cm)
催化活性/(碘值/100g油)≤	1.0	≤1.0		≤1.0	≤1.0

制法 将预先制备好的氧化铝载体用含钯溶液浸渍（或喷涂），再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度约60℃，反应压力约4.0MPa，空速约6.0h⁻¹，氢/油（体积比）约300，使用前需经还原处理。

生产厂家 吉林化学工业公司研究院、兰州化学工业公司研究院、大连催化剂厂、抚顺石化公司石油三厂催化剂厂等。

06214 **RDD-1型裂解汽油一段加氢催化剂** catalyst for the first stage of pyrolysis gasoline

简要说明 RDD-1型催化剂适用于以裂解装置副产的全馏分裂解汽油（$C_5\sim C_{10}$馏分）和氢气为原料的一段选择性加氢过程。通过一段加氢对原料中的二烯烃和链烯基芳烃进行选择性加氢，生成相应的单烯烃和烷基芳烃，最后经过脱C_5塔和脱C_{10}塔将C_5和C_{10}脱除，$C_6\sim C_9$馏分再进入第二段将单烯烃加氢并脱硫。

一段加氢催化剂通常有贵金属和非贵金属两种类型催化剂。RDD-1型属于非贵金属型催化剂，它克服了通常非贵金属催化剂活性和稳定性较差、产品质量不稳定等缺点。经工业装置长期运转结果表明，该催化剂的活性、稳定性及选择性良好，可替代进口催化剂作为裂解汽油一段选择性加氢催化剂。

基本配方 以NiO为主要活性组分，催化剂中NiO含量≥15%。

性状 外观为球状（占70%以上），外形尺寸为$\phi1.5\sim\phi3.0$mm，堆积密度900kg/m³，比表面积80～120m²/g，孔容≥0.3cm³/g，机械

强度≥45N/粒。

催化活性：原料裂解汽油的 MAV 为 116.56mg/g，溴碘值为 88.07g（100g）；产品的 MAV 为 12.60mg/g，溴碘值为 29.67g（100g）。评价条件：反应温度 100～120℃，反应压力 3.28MPa，空速 1.73h^{-1}，反应器为轴向反应器，内径 832mm，高度 14720mm。

制法　将活性组分镍负载在载体上，再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件　反应：温度 80～140℃，压力 3.0～3.6MPa，空速 1.7～2.1h^{-1}。

还原：催化剂使用前须还原处理，还原气 $H_2/N_2=2:1$，升温速率 30℃/h，温度 380～430℃，压力 0.3MPa。

钝化：目的是抑制初活性；方法是用全馏分石脑油通过床层，当反应器出口中硫含量与进口油品油中硫含量相近，并不再变化时结束。一般催化剂上含硫 0.2%～0.3%。

再生：积炭失活催化剂可再生，再生条件：温度≯460℃，混合气中氧含量 0.2%～0.5%体积分数。

生产厂家　石油化工科学研究院。

第三节　脱氢催化剂

06301　XH 型乙苯脱氢催化剂　ethybenzene dehydrogenation catalyst XH

简要说明　乙苯脱氢制苯乙烯是重要的石油化工过程，所用的催化剂种类很多。XH 系列催化剂是厦门大学开发的乙苯脱氢催化剂，它以铁为主要活性组分，用钾和铈为主要助催化剂。其中 XH-02 型属低钾型，并采用氧化镁为结构助催化剂。由于镁与铁的离子半径相近，形成尖晶石型复合氧化物，很好地发挥了助催化剂的作用。XH-03 型属高钾型催化剂，并且添加了其他过渡金属助催化剂，使选择性明显提高。但 XH-03 型钾含量高，所以吸湿性强。相比较，XH-02 型对恶劣的工况条件有更强的适应性。XH-04 型则是在保持 XH-02 型低钾和其他固有优点的同时，又使催化剂的活性有了较大提高。

基本配方

XH-02 型：主要含铁、钾、铈和镁等，钾含量较低，属低钾型催化剂。

XH-03 型：主要含铁、钾、铈、镁及某些其他过渡金属，钾含量较高。

XH-04 型：主要含铁、钾、铈、镁及某些其他金属组分，钾含量较低。

性状 外观为红棕色圆柱体，外形尺寸为 ϕ4mm×(10～15)mm，堆积密度 1200kg/m^3，比表面积 3.7m^2/g，孔容0.2cm^3/g

催化活性：

催化剂	转化率/%	选择性/%	收率/%
XH-02	42.3	94.7	40.0
XH-03	49.9	97.2	48.5
XH-04	45.3	94.6	43.0

评价条件：温度 560～600℃，空速 0.5～0.8h^{-1}，水比 1.5 (XH-03型水比为 1.71)。

制法 将含铁等组分的溶液进行沉淀，然后经水洗、过滤、干燥、粉碎、加入粘接剂进行捏合，并经挤压成型、干燥、煅烧得催化剂成品。

使用条件 反应温度 580～610℃，乙苯进料空速（液）0.6～0.8h^{-1}，水比（水蒸气量/乙苯量）1.4～1.8（质量），压力为常压。

生产厂家 厦门大学化工厂。

06302 GS 型乙苯脱氢催化剂 ethybenzene dehydrogenation catalyst GS

简要说明 苯乙烯是最基本的有机化工原料，生产量大，用途广。GS 型乙苯脱氢制苯乙烯催化剂是上海石油化工研究院开发的。它具有活性高、选择性好，并具有较高的强度及热稳定性，替代进口催化剂用在大型引进装置上使用，性能优良，能满足工业化大型装置的生产要求。特别是 GS-05 型催化剂，不但活性提高，而且耐湿性能很好，在水中浸泡后活性基本不变。另外，GS-05 型催化剂在运行期内稳定操作时间长，温度提升缓慢，反应器床层压降较小，至停车时仍未达到 8.0kPa。该催化剂已在国内许多苯乙烯装置上使用，效果很好。

本催化剂也可用于二乙苯脱氢制二乙烯苯和α-甲基乙苯脱氢制α-甲基苯乙烯。

基本配方 以氧化铁为主要活性组分。

性状

	型号		
	GS-01	GS-02	GS-05
外观	红棕色圆柱体	红棕色拉西环形固体	红褐色圆柱体
外形尺寸/mm	φ3	外径 φ5、内径 φ1.5～φ2 高 6～8	φ3
堆积密度/(kg/m³)	1300±50	1300±50	1200±50
比表面积/(m²/g)	3±1	3～1	3±1
线强度/(kg/mm)	>1.8		>2.2
颗粒完整率/%			
冷水浸泡后	0	—	100
煮沸后	0	-	100

催化活性[620℃、常压、液体空速 1.0h⁻¹，水比 2.0（质量）、催化剂装置 100cm³]：

	型号		
	GS-01	GS-02	GS-05
乙苯转化率/%	71	71	75
苯乙烯选择性/%	94	94	95
单程收率/%	67	67	72

制法 将含铁及其他组分的溶液沉淀，然后经老化、水洗、压滤、干燥、碾压、成型，再经干燥及煅烧制得催化剂成品。

使用条件 温度 560～640℃，液体空速 0.3～1.0h⁻¹，水比 0.8～2.2（质量），压力为常压，原料卤化物含量<1×10⁻⁶，二乙苯含量<3×10⁻⁶。

生产厂家 上海石油化工研究院。

06303 NCY 型乙苯脱氢催化剂 ethybenzene dehydrogenation catalyst NCY

简要说明 属于铁系多金属氧化物催化剂。主要用于乙苯脱氢制苯乙烯反应中，也可用于异丙苯和二乙苯的脱氢。主要型号有 NCY-103 型和 NCY-315 型，其中 315 型为含铬乙苯脱氢催化剂，是兰州化学

工业公司橡胶厂早期开发的催化剂产品。

基本配方 NCY-103 型主要组分为 NiO、Fe_2O_3 及其他助催化剂。

315 型以 Fe_2O_3、CuO、Cr_2O_3、K_2O 为活性组分，以氧化镁和硅藻土为载体，活性组分/载体为 5:35（质量比）。

性状 NCY-103 型催化剂外观为黑色或黄黑色条形颗粒，外形尺寸为 ϕ3mm×（3～10）mm，也可根据用户需要确定，堆积密度 800～1000kg/m^3（压片 1200～1400kg/m^3），比表面积 30m^2/g，孔容 0.3cm^3/g。

315 型外观为红褐色圆柱体，外形尺寸为 ϕ(4～5)mm×(5～15)mm，堆积密度 1000～1100kg/m^3，比表面积 15～20m^2/g，孔容 0.3cm^3/g。

催化活性：选择性 90%～92%，苯乙烯浓度大于 40%～50%，抗压强度11～13MPa。

制法 将硫酸亚铁和硝酸钾等物料溶解配成溶液，经沉淀、水洗、干燥、粉碎后，配入其他催化剂组分及胶粘剂，经捏合、成型、干燥、煅烧得催化剂成品。

使用条件 温度 580～660℃，空速（气态乙苯）100～300h^{-1}，水苯比（水蒸气/乙苯）2～12（质量比），常压，硫和氯化物＜3×10^{-6}（体积比）。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司、兰州化学工业公司、上海高桥化工厂。

06304 **环己醇脱氢催化剂** catalyst for dehydrogenation of cyclohexanol

简要说明 环己酮是制造聚酰胺纤维（尼龙）的中间体，也是重要的工业溶剂，其中 60%是由环己醇催化脱氢生产的。Zn-Ca 系催化剂是传统的环己醇脱氢催化剂，它的使用温度稍高，使用寿命较短（约一年）。国内现已开发低温、高效的 Cu-Zn 催化剂。

基本配方 活性组分为 ZnO、CaO 和 MgO。

性状 外观为灰黑色圆柱体，外形尺寸为 ϕ5.0mm×(5.0～6.0)mm，比表面积约 80m^2/g，孔容约 0.2cm^3/g。

催化活性：单程转化率 70%～80%，环己酮选择性 96%。

评价条件：350～400℃，液体空速 0.4～0.8h $^{-1}$，固定床反应器。

制法 （1）混合法：将锌盐溶液在适当 pH 值下沉淀，与碳酸钙以 Zn:Ca=1:1（摩尔比）混合，再经干燥、煅烧等过程制得。

（2）浸渍法：将碳酸钙用含锌及其他组分的溶液浸渍载上催化剂组分，再经干燥、煅烧等过程制得。

（3）共沉淀：用锌、铝、镁等的金属盐配成溶液，进行共沉淀，将沉淀经水洗、压滤、干燥、碾压、成型过程制得。

使用条件 温度 360～400℃，压力，常压～1MPa，空速（液体）0.4～0.8h $^{-1}$。

生产厂家 南京化学工业集团有限公司催化剂厂。

06305 **丁烯氧化脱氢钼铋系催化剂** Mo-Bi catalyst for oxidative dehydrogenation of n-butene

简要说明 丁二烯是石油化工基本原料及生产高分子合成材料的重要单体，除由碳四馏分抽提外，主要靠丁烯或丁烷的脱氢制取。丁烯直接脱氢制丁二烯是一个可逆过程，受热力学平衡限制。如果在反应体系中加入氧气等氢的接受体，则可改变平衡、提高脱氢产物的收率。另外，丁烯的氧化脱氢由于有氧气存在，催化剂上没有焦炭沉积，可使操作时间增长。但是，丁烯氧化脱氢过程中含氧副产物多，所以提高选择性对丁烯氧化脱氢催化剂是十分重要的。

以钼-铋氧化物为基础的多组分催化剂，是典型的丁烯氧化脱氢催化剂，它也是异戊烯氧化脱氢制异戊二烯催化剂的重要组分。P-Mo-Bi 三元型催化剂除铋和钼外引入了磷，它是较早开发的丁烯氧化脱氢催化剂，在 20 世纪 70 年代初就已工业化。引入其他组分制备的六元型催化剂，由于其他组分的助催化作用，活性、选择性及寿命都有较大提高。三元型及六元型催化剂适用于硫化床丁烯氧化脱氢反应器中，也可用于固定床反应器中。

基本配方 三元型：活性组分为 P、Mo、Bi，载体为 SiO_2。

六元型：活性组分为 P、Mo、Bi、Fe、Ni、K，载体为 SiO_2。

性状 三元型：外观为白至淡黄色球状颗粒，外形尺寸为 230～

800μm，堆积密度 800～900kg/m³，比表面积 100m²/g，孔容 0.5cm³/g，吹磨强度 80%。催化活性：丁烯转化率 58.0%，丁二烯选择性 82.0%，丁二烯收率 48.0%。

评价条件：480℃，水烯比 4.6（摩尔比）φ2400mm 挡板硫化床反应器。

六元型：外观为灰黄色至深褐色球状颗粒，外形尺寸为 240～800μm，堆积密度 730～760kg/m³，比表面积 80～100m²/g，孔容 0.5cm³/g，吹磨强度大于 85%。催化活性：丁烯转化率 67.1%，丁二烯选择性 89.3%，丁二烯收率 60.0%。

评价条件：410℃，水烯比 6.4（摩尔比）φ2400mm 挡板硫化床反应器。

制法 采用硫化床浸渍法制备，干燥、分解、活化都在床内进行。先将专用硅小球载体在硫态化下浸渍含铋、镍、铁、钾等的溶液，而后进行干燥及分解。用磷钼酸铵溶液进行第二次浸渍，再经干燥、煅烧、活化等过程制得成品。

使用条件 温度 390～520℃，压力，常压～0.1MPa，反应时通水蒸气，水烯比 4～12（摩尔比）。

生产厂家 兰州化学工业公司研究院。

06306 **无铬铁系丁烯氧化脱氢催化剂** non-chrome ferrite catalyst for oxidative dehydrogenation of *n*-butene

简要说明 铁系尖晶石作为丁烯氧化脱氢催化剂的优点是生成有害的含氧化合物如不饱和醛、酮、酸等较少，生成丁二烯的选择性较高。中科院兰州化物所、锦州石化公司等单位协作，于 1983 年开发出丁 H-198 型丁烯氧化脱氢铁系催化剂，1992 年又开发出新型无铬铁系催化剂 W-201，以后又开发出 R-109 催化剂。它们都具有很好的活性、选择性和寿命，特别是 R-109 型催化剂，它具有较宽的操作弹性和对非正常操作较好的耐受性。在高温合缺氧的条件下催化剂的反应性能会下降，但恢复到正常反应条件经过一段时间运转，R-109 型催化剂的活性可恢复。

铁系催化剂导向挡板硫化床丁烯氧化脱氢技术是我国独创的，它

性状　外观为黑棕色圆柱体，外形尺寸为 $\phi4.8\times5.2\sim\phi3.5\times5.5$，堆积密度 1100～1500kg/m^3。

制法　将金属铜等原料经酸溶后配制成溶液，经沉淀、水洗、过滤、干燥、碾压、造粒、混合、压片等过程制得成品。

使用条件　反应温度 220～280℃，反应压力为常压～0.20MPa，液空速 0.05～0.25h^{-1}。

生产厂家　南京化学工业集团有限公司催化剂厂、西南化工研究院等。

第四节　氧化催化剂

06401　乙烯氧化制环氧乙烷银催化剂　silver catalysts for epoxyethane

简要说明　乙烯氧化制环氧乙烷公认的最佳活性组分是银，通常用小比表面积的 α-Al_2O_3 作为载体。若采用高比表面积载体，由于反应产物环氧乙烷难于从小孔中扩散出，脱离表面速度慢，加上散热不好，易造成环氧乙烷的进一步氧化。此外，还加入助催化剂，一方面提高银分散度，避免银粒子烧结，另一方面提高催化剂的选择性。乙烯氧化制环氧乙烷是一强放热反应，并且较易发生副反应。因此，提高催化剂的传热性能和选择性是十分必要的。

本催化剂有 SPI-Ⅱ、YS 和 CHC 等几个系列产品，适用于乙烯和氧在气相下氧化生成环氧乙烷反应。本催化剂即可用于以纯氧为氧化剂的氧气法工艺，也可用于以空气为氧化剂的空气法工艺。

基本配方　主要活性组分为银，以钡、钯等为助催化剂，载体为特制的 α-Al_2O_3。银的含量为 SPI-Ⅱ型：(11.0±0.2) g/100cm^3 催化剂；CHC-Ⅰ型：(20±0.5) g/100cm^3 催化剂；YS 系列：(14±0.5)%。

性状

	型　号		
	SPI-Ⅱ	CHC-Ⅰ	YS
外观	环形	中空圆柱形	环形
外形尺寸/mm	外径 $\phi6.4\pm0.1$ 内径 $\phi2.5$ 高 6.4 ± 0.1		外径 $\phi6\sim\phi8$ 内径 $\phi2\sim\phi3$ 高 4～8

	型　号		
	SPI-Ⅱ	CHC-Ⅰ	YS
堆积密度/(kg/m³)	550±50	610±20	550~800
比表面积/(m²/g)	0.3~1	0.3~1	~1
催化活性：(反应气组成；乙烯20%、氧气7%、二氧化碳5%~7%、氮气余量，反应压力2.1MPa，空速7000h⁻¹，起始操作温度225~240℃)			
出口气EO浓度/%(物质的量)	1.35~1.42	1.35~1.42	1.35~1.42
选择性/%	83.5	83.5	
时空产率/(kgEO/kg催化剂·h)	>0.18	>0.18	18.5 (gEO/L催化剂·h)

制法　载体制备：以α-三水铝石及一水铝水为原料，加入助熔剂、矿化剂及含碳材料等，经混合并加入水及甲基纤维素进行捏合，然后成型、干燥、煅烧得到载体刚玉，将载体浸渍上银化合物等组分，再经煅烧分解、过筛得成品。

使用条件　反应气配比：乙烯20%、O_2 7%、CO_2 5%~7%、N_2 65%~70%，溶温220~230℃，压力(2.1±0.1)MPa，空速7000h^{-1}，以二氯乙烷为抑制剂。

生产厂家　上海石油化工研究院、燕山石油化工总公司研究院。

06402　**邻二甲苯氧化制苯酐催化剂**　catalyst for the oxidation of o-xylene to phthalic anhydride

简要说明　苯酐作为十大有机化工原料之一，随着石油化工的发展，其需求量日益增加。以邻二甲苯为原料制备苯酐在当今工业化生产中占主要地位。为了提高苯酐质量和产量，扩大苯酐生产规模，提高装置的生产效率，应提高催化剂负荷。本催化剂属于"80克工艺"催化剂，通过选用合适的TiO_2及调整碱金属含量，得到的催化剂具有适宜的活性和选择性，保证催化剂在高负荷、低盐温的反应条件下，具有适宜的操作弹性。采用滑石环作为载体，以表面涂层的方法制备催化剂，可增加催化剂的几何表面积，降低床层阻力，改善床层传热效果。特别是载体中钠含量低，有利于维持催化剂的稳定性。

本催化剂型号为 BC-2-38AB，属于钒钛系邻二甲苯氧化制苯酐催化剂，适用于固定床反应器邻二甲苯氧化制苯酐过程中。

基本配方 以钒和钛为主要活性组分，添加多种助催化剂组分，包括碱金属及稀土氧化物等，催化剂以滑石环为载体。

性状 外观为环状，外形尺寸为 8mm（外径）×5mm（内径）×6mm，堆积密度约 900kg/m^3，径向抗压强度＞7kg/粒，轴向抗压强度＞20kg/粒。

催化活性：邻二甲苯转化率约 100%，苯酐收率 112.08%～112.70%（质量）顺酐收率 8.2%～9.65%（质量），$CO+CO_2$ 物质的量分数为 13.77%～14.25%。评价条件：空速 3000h^{-1}，邻二甲苯质量浓度 80g/m^3，盐温 369～370℃，热点温度 450～455℃。

制法 载体的制备：选用矿源稳定的滑石粉，加入粘性好、烧结范围宽的粘土为胶粘剂，含钙、镁的矿物质为助熔剂。采用挤环工艺成型，经烘干、煅烧得滑石环载体。采用喷涂法将活性组分及助剂载在载体上，再经干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度（熔盐溶）369～406℃，空速 3000h^{-1}，邻二甲苯质量浓度 70～80g/m^3。

生产厂家 北京化工研究院。

06403 **萘氧化制苯酐催化剂** catalyst for naphthalene oxidation to phthalic anhydride

简要说明 邻苯二甲酸酐（苯酐）可以由萘氧化制得，由于该反应热效应较大，所以多采用硫化床法生产。硫化床萘氧化催化剂一般都采用 SiO_2 为载体，由于受到极限硫化速度与带出速度的限制，一般在较低的空速下操作，接触时间较长。因此，只要催化剂能在较低的温度下提供一定的活性氧并有适中的活性，就可以获得较高的苯酐收率。

本催化剂用于硫化床萘氧化生产邻苯二甲酸酐。

基本配方 以 V_2O_5、K 等为活性组分，以 SiO_2 为载体。含有 V_2O_5 约 9%，K_2O 9.8%～12.6%，SiO_2 60%～65%，游离酸 5%～7%，含水量≤5%，灼烧失重≤4%。

2200h $^{-1}$，催化剂负荷苯82g/(L·h)。

生产厂家 北京化工研究院等。

06405 **丙烯氧化制丙烯醛催化剂** catalysts for propene oxidation to acrolein

简要说明 丙烯在不同条件下氧化，可以得到不同的含氧或含其他杂原子的化合物。丙烯醛是最简单的不饱和醛，是生产丙烯酸的中间产物，也是制造饲料添加剂蛋氨酸的重要原料。丙烯氧化制丙烯醛的催化剂是以钼-铋为主，添加 Fe、Co、Ni、W、Sn、Sb、Si、P、Mn 等元素提高催化剂的活性及选择性，同时添加微量碱金属或碱土金属的成分，来适当地减弱催化剂的酸强度，促进产物脱附，防止过度氧化。

本催化剂有 8001、8201 和 LY-A-8801 型等型号，主要用于丙烯氧化制丙烯醛，也用于两步法制丙烯酸的第一步反应催化剂。

基本配方 8001 型：Mo-Bi-P-Fe-Ni-Sn-Cu-K-O/刚玉。

8201 型：Mo-Bi-W-Co-Fe-Si-K-O/α-Al_2O_3。

性状

	型号		
	8001	8201	LY-A-8801
外观	黄褐色圆柱体	灰黑色圆柱体	茶灰色圆柱体
外形尺寸/mm	ϕ3×3 或	$\phi(7.2\pm0.2)\times(7\sim8)$	$\phi5\times5$
	$\phi5\times5$	$\phi(15.2\pm0.2)\times(5\sim6)$	$\phi7\times7$
堆积密度/(kg/m^3)	1206～1236	1000～1300	1000～1100
比表面/(m^2/g)	17～20	7～10	10
孔容/(cm^3/g)	0.24～0.27	0.3±0.2	0.3
抗压强度/MPa	9～12	>4	
催化活性：	8001	8201	LY-A-8801
丙烯转化率/%	89	>93	≥94.5
丙烯醛收率/%	78	约 80	≥78.0

制法 将特制的载体经喷淋浸渍上活性组分后，经干燥、煅烧分解和活化等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 320～340℃，压力为常压，空速 1500h $^{-1}$。

生产厂家 兰州化学工业公司研究院等。

06406 **丙烯氧化制丙烯酸催化剂** catalyst for propene oxidation to acrylic acid

简要说明 采用丙烯氧化生产丙烯酸的技术，分成一步法和二步法两种，但由于一步法工艺固有缺点，尚无工业化装置。两步法可使每步氧化反应均处于最佳状态，是最经济的工艺。在氧化催化剂存在下，第一步丙烯氧化成丙烯醛，第二步丙烯醛进一步氧化成丙烯酸。其反应式如下：

$$CH_2=CH-CH_3+O_2 \rightarrow CH_2=CH-CHO+H_2O+334.88kJ$$

$$CH_2=CH-CHO+1/2O_2 \longrightarrow CH_2=CHCOOH+251.16kJ$$

丙烯氧化法制丙烯酸技术的关键在于催化剂。本催化剂适用于硫化床丙烯氧化制丙烯醛（一段），硫化床丙烯醛氧化制丙烯酸（二段）。

基本配方 一段：以 Mo、Bi、Fe、Ni、Co、K、P 为活性组分，以氧化硅微球为载体（载体占 72%）。

二段：以 Mo、V、W 为活性组分，以氧化硅微球为载体（载体占 66%）。

性状 一段：外观土黄色微球，外形尺寸为 $\phi800\sim\phi215\mu m$，堆积密度 670kg/m^3，孔容 0.4cm^3/g。催化活性：丙烯转化率≥90%，丙烯醛单程收率≥60%。

二段：外观绿黑色微球，外形尺寸为 $\phi800\sim\phi215\mu m$，堆积密度 750kg/m^3，孔容 0.4cm^3/g。催化活性：丙烯酸单程收率≥60%。

制法 采用硫化床浸渍法制备。干燥、分解、活化等过程均在床内进行。先将硅微球载体用（60±10)℃的热空气流化，然后将含各种活性组分的溶液喷淋其上进行流化喷淋浸渍，进行干燥、分解、活化等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 320℃，压力为常压。

生产厂家 兰州化学工业公司研究院。

06407 **丙烯醛氧化制丙烯酸催化剂** catalysts for acrolein oxidation to acrylic acid

简要说明 丙烯酸是重要的有机化工原料，它可用于生产涂料、合成

纤维及用于有机合成等。由丙烯醛氧化制丙烯酸早期是用 Co-Mo 系催化剂，它反应温度高，丙烯酸收率低。现在的催化剂都是以 Mo-V 为主的多组分催化剂，作为助催化剂的有 W、Cu、Mn、Sr、Sn、Co 等。催化剂的活性和选择性依赖于催化剂的组成、物相和活化条件、载体的表面状况等。

本催化剂有 8002、8202 及 LY-A-8802 型等型号，主要用于固定床反应器由丙烯醛氧化制丙烯酸催化剂，也可用于丙烯二步法氧化制丙烯酸的第二步反应催化剂。

基本配方 8002 型：Mo-V-W-Cu-Sr-O/刚玉。

8202 型：Mo-V-W-Cu-Sr-O/α-Al_2O_3。

性状

	型号		
	8002	8202	LY-A-8802
外观	灰黑色球体	黑绿色球体	黑绿色表面粗糙球体
外形尺寸/mm	ϕ3～ϕ5	ϕ4	ϕ5、ϕ8
堆积密度/(kg/m^3)	1000～1200	1100～1200	1300～1400
比表面/(m^2/g)	9～12	4	10
孔容/(cm^3/g)	0.3	0.3	0.3
催化活性：	8002	8202	LY-A-8802
丙烯转化率/%		约 95	≥95
丙烯酸收率/%	约 78	约 84	≥82.5
丙烯酸时空产率/[g(h·L)]	约 145	约 140	

制法 用偏钒酸铵、仲钼酸铵等配制成溶液，将特制的载体经预处理后，把配好的含活性组分的溶液喷淋浸渍在其上，而后经干燥、煅烧分解及活化等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 275～285℃，压力为常压～49kPa，空速 1600h^{-1}。

生产厂家 兰州化学工业公司研究院。

06408 丙烯氨氧化制丙烯腈催化剂 catalysts for propene ammoxidation to acrylonitrile

简要说明 丙烯在氨和空气中氧化的产物是丙烯腈。丙烯腈是重要的有机化工产品，是腈纶纤维及 ABS 树脂的原料，也是生产药物、染

料、表面活性剂及抗氧剂等的中间体。丙烯氨氧化催化剂与丙烯氧化催化剂相近，但反应条件更苛刻，这可能与氨对丙烯的吸附有阻碍作用有关。目前，丙烯氨氧化催化剂主要采用 Mo-Bi-Fe 系，Sb-Fe 等其他类型的催化剂很少被采用。催化剂制备中的关键是在催化剂连续生产时，如何将关键相铁酸铋或钼酸铋按预定的比例与其他组分制成均匀稳定的化合物。

本催化剂包括 MB-82、MB-86 和 DB-83 等几种型号，适用于以丙烯和氨为原料，以氧（或空气）为氧化剂一步合成丙烯腈的硫化床反应器中。各催化剂均可适用于原来使用进口 C-49 催化剂的装置中，其中 MB-86 催化剂可使用较低的氨比，并具有更高的丙烯腈选择性。

基本配方 以 P、Mo、Bi、Ce、Fe 等为主要活性元素，以 SiO_2 为载体。

性状

	型号		
	MB-82	MB-86	DB-83
外观	棕色微球体	棕色微球体	米灰色球状颗粒
粒度分布			
通过 20 目/%(质量)	100	100	45～220μm
788μm/%(质量)	5～25	0～25	
<44μm/%(质量)	25～45	30～50	
堆积密度/(kg/m³)	880～1020	880～1020	约 900
比表面/(m²/g)	25～35	20～40	
孔容/(cm³/g)	0.2～0.3	0.2～0.3	约 0.3
磨损率/%(质量)	<4	<4	
催化活性	MB-82	MB-86	DB-83
丙烯转化率/%(质量)	97.5	约 98.3	>95
丙烯腈单收/%	75	>80	74～76
丙烯腈选择性/%	76.9	80.7～82.2	

制法 将载体 SiO_2 用含活性组分的溶液浸渍，再经干燥、煅烧、活化等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 400～500℃，氨烯比（摩尔比）1.15～1.25，丙烯空速 0.065～0.070h^{-1}，反应线速 0.54～0.65m/s，反应尾氧 0.70%～1.20%。

腈。间苯二甲腈主要用于有机合成等中。

本催化剂型号 NC-2 型，是细颗粒催化剂，用于间二甲苯氨氧化制间苯二甲腈硫化床反应器中。

基本配方　以 V_2O_5 等为主要活性元素，以 SiO_2 为主要载体。

性状　外观深褐色微球体，催化剂粒度分布：<45μm 25%～45%(质量)、>88μm 5%～25%(质量)、<0.8mm 100%(质量)，堆积密度 880～1000kg/m^3，比表面约 180m^2/g，孔容约 0.6cm^3/g，磨损率<2.0%(质量)。

催化活性：间苯二甲腈重量收率>88%。

评价条件：温度 400～430℃，压力约 0.04MPa，原料配比为间二甲苯:氨:空气=1:(6～8):(30～41)(摩尔比)，催化剂负荷间二甲苯 40～70g/(L·h)。

制法　将载体浸入到含活性组分的溶液中形成一定固含量的浆料，用高速离心喷雾干燥器喷雾干燥，再经回转炉煅烧制得成品催化剂。

使用条件　反应温度 400～430℃，反应压力常压～0.04MPa，原料配比为间二甲苯:氨:空气=1:(6～8):(30～41)(摩尔比)。

生产厂家　上海石油化工研究院等。

06411　乙烯氧氯化催化剂　Ethylene oxychlorination catalyst

简要说明　乙烯氧氯化法目前已成为取代乙炔法生产氯乙烯的主要方法。该反应的过程是乙烯和氯化氢、氧气（或空气）反应生成 1，2-二氯乙烷，后者经热裂解生成氯乙烯和氯化氢，产生的氯化氢又用于氧氯化反应。另外，还会有一些乙烯直接与氯反应生成二氯乙烷。反应方程式为：

$$CH_2{=}CH_2 + 2HCl + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CH_2ClCH_2Cl + H_2O$$

$$CH_2ClCH_2Cl \longrightarrow CH_2{=}CHCl + HCl$$

$$CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \longrightarrow CH_2ClCH_2Cl$$

本催化剂有 BC-2-001 及 BC-2-002 两种型号，用作为硫化床反应器乙烯氧氯化催化剂，用于生产氯乙烯或二氯乙烷。其中，BC-2-001

型用于空气法，BC-2-002 型用于氧气法。

基本配方 是氯化铜等组分负载在氧化铝载体上制得。BC-2-001 型：Cu (5 + 0.5)%，Na_2O<0.1%，其余为氧化铝。BC-2-002 型：Cu (13 ± 0.5)%，Na_2O<0.1%，其余为氧化铝。

性状 外观为淡绿色微球状固体，有轻微刺激性，暴露于空气中能吸湿而结块。

BC-2-001 型：粒度分布<80μm 85% ~94%、<45μm 35% ~45%、<30μm 8% ~ 15%，堆积密度 900 ~ 1100kg/m^3，比表面 (115 ± 15)m^2/g，孔容0.5cm^3/g。

BC-2-002 型：平均粒度 50 ~ 78μm，堆积密度 900 ~ 1200kg/m^3，比表面 120m^2/g，孔容 0.5cm^3/g。

催化活性：氯化氢转化率>99.7%，二氯乙烷纯度>99.0%。

制法 将经胶溶打浆后，再经喷雾干燥成型的方法制得具有一定粒度分布的微球形氧化铝载体，经一定温度下煅烧后，用氯化铜溶液浸渍，再经干燥、活化后制得成品催化剂。

使用条件 硫化床反应器，反应温度(225 ± 10)℃，反应压力(0.2 ± 0.01)MPa。

生产厂家 北京化工研究院。

06412 浮石银催化剂 silver-pumice catalyst

简要说明 本催化剂是氧化反应用催化剂，具有强度高、活性好的特点，可在甲醛、乙醛、冰醋酸、维尼纶、蒽醌等工业生产中用作催化剂。

基本配方 以浮石经加工后载上银作为催化剂，主要化学成分为 Ag、SiO_2 及 Al_2O_3 等，其中含 Ag38% ~42%，含 Fe≤0.03%。

性状 外观为灰白色颗粒，外形尺寸为 3 ~ 5mm、4 ~ 6mm，堆积密度约为 1000kg/m^3，比表面约为 100m^2/g，孔容约为0.3cm^3/g，磨损率<4%。

催化活性：间苯二甲腈收率≥90% (质量)。

评价条件：温度 400℃，压力为常压，空速 0.5h^{-1}。

制法 将浮石经筛选、酸煮、水煮、水洗、干燥、煅烧得到载体，再

ZA-3 型：温度 370～490℃，压力 2～3MPa，液空速约 1.0h $^{-1}$。

生产厂家 上海石油化工研究院。

06502 **ZA-92 型甲苯歧化与烷基转移催化剂** toluene disproportionation and transalkylation catalyst

简要说明 ZA-92 型甲苯歧化与烷基转移催化剂是在 ZA-3 和 ZA-90 基础上改进而成的，主要改进方向是提高催化剂的活性和稳定性，以降低反应温度并延长催化剂的运转周期和使用寿命。本催化剂是由氢型丝光沸石和氧化铝组成的。由于丝光沸石本身粘结性能极差，单独成型困难且强度差。为使催化剂有一定的机械强度，通常将丝光沸石与粘结性能较好的氧化铝一起成型。但在反应过程中，氧化铝的性能对反应有较大的影响。ZA-92 型催化剂主要是改进了氧化铝的性能，用一种特制的氧化铝作为胶粘剂，它的孔分布范围较窄，主要集中于中孔范围。

本催化剂主要用于甲苯歧化或甲苯与 C_9 芳烃烷基转移反应制苯和二甲苯的反应过程中。

基本配方 以丝光沸石为催化剂，以特制的氧化铝为胶粘剂。

性状 外观为白色圆柱状颗粒，外形尺寸 ϕ1.6～ϕ1.8mm、长 3～10mm，堆积密度(750±50)kg/m^3，径向压碎强度≥100N/cm。

催化活性：工业标定结果为甲苯转化率 35.66%（质量），C_9 芳烃转化率 56.12%（质量），总转化率 41.82%（质量），选择性 96.59%（质量）。

标定条件：反应器为绝热轴向固定床，反应器尺寸：ϕ4020mm×9620mm，催化剂装填量 4662kg，催化剂实际装填密度 690kg/m^3。

运转条件：反应温度 364～373℃，反应压力 3.0MPa，氢烃比(摩尔) 9.52，重时空速 0.90h $^{-1}$，原料中甲苯/C_9 芳烃=(60/40)～(100/0)(质量比)。

制法 以水玻璃和偏铝酸钠等为原料，经成胶、老化、晶化、水洗、过滤、干燥等过程制得丝光沸石，再与氧化铝等一起经进行捏合、挤条、干燥、活化等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度350～480℃，反应压力3.0MPa，氢烃比（摩尔比）6.7～9.5，重时空速≤1.32h^{-1}，原料中甲苯/C_9芳烃=60/40～100/0（质量比）。

生产厂家 上海石油化工研究院。

06503 **甲苯歧化与烷基转移催化剂** catalyst for toluene disproportion and transalkylation

简要说明 国产ZA系列及进口的TA系列（UOP公司产品）甲苯歧化与烷基转移催化剂均为氢型丝光沸石，不含助催化剂。在氢型丝光沸石上添加助催化剂能提高催化剂的活性、稳定性，但其难点在于添加助催化剂后选择性难以保持。

本催化剂采用在丝光沸石中添加助催化剂的方法，调变催化剂的酸性及催化性能，使催化剂的活性、稳定性得到提高，而选择性不低于氢型丝光沸石。催化剂型号为HAT-095。

基本配方 主要含有氢型丝光沸石，助催化剂组分及胶粘剂氧化铝。

性状 外观为白色圆柱体，外形尺寸ϕ(1.6～1.8)mm×(3～10)mm、堆积密度(750±50)kg/m^3，径向压碎强度≥100N/cm，粉化度≤0.5%。

催化活性：转化率45.0%，选择性95.0%，这是在工业装置运转1年后的标定结果。

标定条件：温度365℃，压力2.8MPa，氢烃比6（摩尔比），空速1.4h^{-1}，原料甲苯与C_9芳烃质量比：(70/30)～(55/45)。

反应器型式：轴向绝热式固定床反应器，反应器尺寸ϕ2.6m×5.8m，催化剂用量13.0t。

制法 以水玻璃和偏铝酸钠等为原料，经成胶、老化、晶化、水洗、过滤、干燥等过程制得丝光沸石，添加助催化剂组分，并加入氧化铝后经进行捏合，然后经挤条、干燥、活化等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度360～460℃，反应压力2.8MPa，氢烃比4～10（摩尔比），空速1.0～1.5h^{-1}，甲苯/C_9芳烃(70/30)～(55/45)(质量)，循环氢纯度≥80%，用于绝热固定床反应器。

Al_2O_3。

性状

	型号			
	3814	3851	3864	3941
颗粒形状	条状	条状	条状	条状
外形尺寸/mm	ϕ1.6×(1～5)	ϕ1.6×(2～5)	ϕ1.6×(2～5)	ϕ(1.5～1.6)×(2～5)
堆积密度/(kg/m³)	700～800	650～750	600～750	680～720
抗压强度/(N/mm)	>49	>49	>49	>60
比表面/(m²/g)	>200	>200	>200	>200
孔容/(cm³/g)	>0.3	>0.3	>0.3	
C_8烃产率/%	≥95.5	≥96.5	≥97	≥97.5
对二甲苯/混合二甲苯%(质量)	≥21	≥21	≥21	≥21.5
乙苯转化率/%	≥25	≥25	≥25	≥15

制法 将氧化铝与分子筛混合，而后浸渍上铂或铂铼，再经干燥、煅烧等步骤制得成品催化剂。

使用条件 反应温度360～450℃，反应压力0.7～2.3MPa，氢油比(摩尔比)5.6～9.0，重量空速2.0～4.0h^{-1}。使用时无需注氯。

生产厂家 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂。

06506 二甲苯异构化催化剂 xylene isomerization catalysts

简要说明 无论用什么方法得到的三种二甲苯中都以间二甲苯为最多，但工业上对二甲苯和邻二甲苯需求量比间二甲苯大得多，需要用二甲苯的异构化反应来解决二甲苯异构体的供需平衡问题。二甲苯异构化的主要目的是增产对二甲苯，使非平衡混合物转化至接近平衡组成。

本催化剂为SKI系列催化剂，有SKI-400、SKI-400-40等型号。它是以铂为加氢脱氢组分，以氢型丝光沸石和ZSM-5沸石为酸性组分组成的双功能催化剂，具有良好的活性和选择性。由于采用沸石作为酸性组分，省去了卤素型催化剂的连续补氯，避免了设备腐蚀。

基本配方 SKI-400-40型含铂0.38%（质量），载体为氧化铝和丝光沸石及ZSM-5沸石。

性状 SKI-400-40型外观条形颗粒，外形尺寸为ϕ1.6mm×(2～5)

mm，堆积密度 700～720kg/m^3，压碎强度＞8.0N/cm，粉化度＜1%（质量分数）。

催化活性：乙苯转化率 27.7%，对二甲苯/混合二甲苯 22.2%（质量），C_8 芳烃收率 97.7%。

评价条件：反应温度 375℃、反应压力 1.1MPa，空速 3.6h^{-1}，氢烃摩尔比 4，径向反应器，尺寸 ϕ3.8m×12.1m，催化剂床层高度 6.72m。

制法（SKI-400-40 型） 将高纯氧化铝、田菁粉、硝酸水溶液与钠型丝光沸石及 ZSM-5 沸石一起混捏，经挤条、养生整形、干燥、煅烧（500℃，4h）得成型的载体，用氯化铵溶液交换，再经干燥、煅烧（500℃，4h）得到氢型沸石载体，经浸铂、扩散（60℃，6h）、干燥（120℃，12h）、活化（500℃，4h）得到氧化态的成品催化剂。

使用条件 反应温度 390～420℃，反应压力＞1.0～1.5MPa，氢烃比（摩尔）＞3.8，质量空速 3.5～4.0h^{-1}。

催化剂的预处理如下。

（1）脱水干燥：采用加入体积分数为 1%～3%氧的 0.4MPa 氮气进行 260℃、370℃、420℃升温循环，脱去自然水和结晶水 加入少量氧是为烧掉系统内残存的油气，并对催化剂起再活化作用。

（2）还原：在脱水干燥完成后，降至常压，进行 N_2、H_2 置换，H_2 气密性试验合格后，升压至 0.8MPa，分别在 260℃、370℃、450℃温度下，进行催化剂还原。

生产厂家 北京石油化工科学研究院。

06507 **芳烃脱烷基制苯催化剂** catalyst for dealkylation to benzene

简要说明 苯作为合成纤维、树脂、橡胶及有机合成的原料需求量日益增多，在满足这种需求的过程中形成了甲苯及其他烷基芳烃的过剩趋势，将它们脱烷基制苯是增产苯有用的方法。甲苯是最常用的脱烷基制苯的原料，其他如重整油、裂解油等含芳烃的原料也可用于脱烷基制苯。但在脱烷基的条件下，原料中的任何非芳烃均被裂解成甲烷和乙烷，这些反应增加了氢耗，所以基于经济上考虑，原料中非芳烃含量应小于 30%。

本催化剂产品型号为 NCY-102，主要用于裂解汽油中 C_6～C_8 高芳烃含量馏分加氢脱烷基制高纯度苯，也可用于甲苯或其他原料脱烷基制苯。

基本配方　主要活性组分为 Cr_2O_3，并添加其他助催化剂组分，载体为 γ-Al_2O_3。

性状　外观为草绿色圆柱体条状颗粒，外形尺寸 ϕ3.2mm×(5.0～10.0)mm，堆积密度（950±100）kg/m^3，比表面约130m^2/g，孔容0.35cm^3/g。

催化活性：苯对甲苯收率＞95%。评价条件：温度 620℃（入口），压力 5MPa。

制法　将专用的 γ-Al_2O_3 载体浸渍于含活性组分的溶液中，而后经干燥、煅烧等过程制得催化剂。

使用条件　反应温度 500～620℃，反应压力 5MPa，氢油比 1000（体积），液空速 0.6h^{-1}，再生周期＞3 个月。

生产厂家　南京化学工业集团有限公司。

第六节　其他催化剂

06601　乙烯水合催化剂　hydration catalyst for ethylene

简要说明　制备乙醇的经典方法是发酵法，但由于从石油裂解中可得到大量的廉价乙烯，所以以乙烯为原料水合制乙醇现在已是乙醇最重要的工业来源。乙烯水合有硫酸法间接水合和直接催化水合两种方法。乙烯直接气相水合比硫酸法有明显的优点。虽然它单程转化率较低，因而大量烯烃需循环使用，耗能较高，但仍比硫酸间接法在经济上有利，所以乙烯水合装置大部分都是采用直接气相水合法。

本催化剂用于乙烯直接气相水合法生产乙醇。

基本配方　以硅藻土为载体，以磷酸为主要活性组分，是磷酸/硅藻土润载型催化剂。化学组成：$SiO_2$47%，$Al_2O_3$1.5%，Fe_2O_3 小于0.2%，游离磷酸 45%～50%，总磷酸量 45%～50%。

性状　外观为柱形或球形颗粒，柱形抗压强度大于 4.91MPa，球形抗压强度大于 0.39MPa。

催化活性：乙烯单程转化率大于 4.5%，乙醇产率为

1900g/(L·h)

评价条件：反应温度（295±5)℃，反应压力 6.87MPa，水与乙烯摩尔比 0.7，空速 2100h^{-1}。

制法 将天然硅藻土经酸洗、煅烧等处理制成载体，将载体浸渍在约 55%～65%的磷酸水溶液中，然后进行干燥，干燥后的催化剂上应无酸渗出（滴流），催化剂上磷酸浓度应在 75%～85%范围。

使用条件 反应温度 280～300℃，反应压力 6.7～8MPa，水烯摩尔比 0.6～0.7，循环气中乙烯浓度 85%～90%，反应床层中不能有水凝结。

生产厂家 大连制碱工业研究所等。

06602 **丙烯水合催化剂** hydration catalyst for propylene

简要说明 丙烯水合制异丙醇有硫酸间接法和直接气相催化法两种，丙烯直接水合制异丙醇的生产成本较硫酸法低，所以生产异丙醇多用直接水合法。与乙烯相比丙烯分子由于其不对称的结构而具有极性，因此反应活性比乙烯高，故丙烯水合反应可在较低的温度下进行，相应地压力也降低。丙烯水合催化剂上磷酸的含量也可相应降低。一般来说，丙烯气相水合的副产物较少，主要是异丙醚及微量的聚合物等。

本催化剂适用于丙烯气相直接水合制异丙醇。

基本配方 以磷酸为主要活性组分，以硅藻土为载体。化学组成为：$SiO_2$60%，$Al_2O_3$1%，Fe_2O_3 小于 0.5%，游离磷酸含量 40%。

性状 外观为圆柱状，抗压强度 3.92MPa。

催化活性：丙烯单程转化率 5.2%，异丙醇产率 185g/(L·h)，使用寿命大于 5000h。

评价条件：反应温度 194～196℃，反应压力 1.96MPa，水与乙烯摩尔比 0.60～0.70，空速 1300h^{-1}。

制法 将天然硅藻土经酸洗、煅烧等处理制成载体，将载体浸渍在磷酸水溶液中，载上磷酸后进行干燥即得成品催化剂。

使用条件 反应温度（195±5)℃，反应压力(2.0±1)MPa，水烯摩尔比 0.65～0.70，空速(1300±50)h^{-1}，循环气中丙烯浓度＞85%，

反应床层中不能有水凝结。

生产厂家 大连制碱工业研究所等。

06603 **乙醇脱水制乙烯催化剂** catalyst for ethanol dehydrating to ethylene

简要说明 乙醇脱水制乙烯生产过程简单，乙烯收率高，在生产规模不大时，用此法生产乙烯有现实意义。反应一般采用外加热多管式固定床反应器，有较高的乙烯收率，主要副产物是乙醚，也可能有少量乙醛生成。反应气经冷却、净化和干燥，脱除副产物和水后，可获得高纯度乙烯。

本催化剂产品型号有 JT-Ⅱ及 NC1301 型等，用于乙醇脱水制乙烯，也可用于乙醇脱水制乙醚反应及异丙醇或叔丁醇脱水制相应烯烃的反应中。具有活性高、选择性好、寿命长等特点，正确使用本催化剂在整个运行过程中可不需再生。

基本配方 主要组分为活性氧化铝，并添加其他助剂。

性状 外观为白色或白色微带红色圆柱体条状，外形尺寸为ϕ(3.5～4.0)mm×(10～15)mm，堆积密度 600～800kg/m^3，孔容为 0.3～0.4cm^3/g。

催化活性：乙醇转化率＞99.5%，乙醇选择性＞97%，乙醇(95%)单耗＜1800kg/1000kg 乙烯，催化剂寿命 2 年 (JT-Ⅱ型)。

评价条件：原料组成为乙醇 (95%)，反应温度 360～400℃ (溶温)，反应压力常压，液态空速 0.5～0.8h^{-1} (质量)。

制法 将铝盐溶解后进行中和沉淀 (控制沉淀条件)，然后经水洗、压滤、干燥、粉碎等过程，再加入适量硝酸和其他添加剂经捏合、挤条成型、干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 200～340℃，反应压力为常压或低压，液态空速 1.0～3.0h^{-1}。

生产厂家 上海石油化工研究院、南京化学工业有限公司等。

06604 **T-49 型固体磷酸催化剂** solid phosphoric acid catalyst T-49

简要说明 固体磷酸催化剂在齐聚、叠合、烃化、水合等领域中已有

力 2.5～4.0MPa，空速 3～4h^{-1}。

对原料要求：丙烷和丙烯中二烯烃或炔烃含量＜0.2%（质量），进料含硫＜20mg/g，含水量 600～1800mg/kg，碱性氮化物含量＜0.6mg/kg。

生产厂家 兰州炼油化工总厂、上海石油化工研究院。

06605 **烯烃叠合催化剂** oligomerization catalyst for olefines

简要说明 两个或两个以上的烯烃分子相互结合形成较大烯烃分子的过程叫齐聚或叠合。但一般情况下，采用单一组成的烯烃进行齐聚生产某种烯烃的过程才称为齐聚，例如由乙烯齐聚生产 α-烯烃等。但用混合的烯烃作为原料时，不仅各类烯烃本身会结合成二聚物、三聚物等，而且各类烯烃分子之间也会相互结合成不同大小的烯烃分子，所得产物是一个各类烃的混合物，这时这种过程习惯称为叠合。

叠合过程以热裂化、催化裂化和焦炭化等装置的副产炼厂气，不经分离直接作为原料。叠合产物含有较多异构烯烃，具有较高的辛烷值，并具有较好的调和性。但由于它含较多烯烃，安定性差，所以通常用它作为高辛烷值组分，与其他过程生产的汽油馏分调和来生产高辛烷值汽油。从资源利用角度看，叠合过程把利用价值很高的烯烃转变成汽油，这是存在着不合理性。但在实际工业中，对某些中小企业，由于炼厂气量较少，或无条件建设化工装置，采用叠合工艺也是提高经济效益的一个临时性的手段。

产品型号有 609 型及 Z-4 型两种。

基本配方 609 型为磷酸/硅藻土型。其中 609-A、609-C 总磷量（P_2O_5）为 58.0%（质量），609-B 为 60.0%（质量）；自由酸（P_2O_5）分别为 609-A 为 16.0%（质量），609-B 为 15.0%（质量），609-C 为 13.0%（质量）。

Z-4 型为一种高硅沸石型催化剂，主要含 SiO_2 和 Al_2O_3。

性状 Z-4 型为白色条状，外形尺寸 ϕ1.8mm×(3.5～10)mm，堆积密度 720kg/m^3，比表面 200～300m^2/g，孔容 0.35cm^3/g，抗压强度 1MPa。催化活性：烯烃平均转化率≥70%，催化剂失活周期 2～3 个月，可反复再生，催化剂不结块。评价条件：反应温度 300～380℃，

反应压力0.1～2MPa，质量空速0.5～3h^{-1}，原料中C_3，C_4烯烃约为54%。

609型为条形，强度（刀口法）609-A为118N/粒，609-B为147N/粒，609-C为147N/粒。

催化活性：转化率/%609-A为76，609-B为70，609-C为80，评价条件：反应温度210℃，反应压力3MPa，气体流速0.240m^3/h，原料气中总烯烃含量28%。

制法 Z-4型：以水玻璃和硫酸铝为原料，经成胶、晶化、洗涤、压滤、干燥、捏合、成型、干燥、煅烧等过程制得成品。

609型：将硅藻土混上磷酸、经挤条、干燥、煅烧，再用磷酸浸渍，经干燥而得成品。

使用条件 Z-4型：温度300～380℃，压力0.1～2MPa。

609型：温度200℃，压力3.0MPa。

生产厂家 锦州石化公司锦州炼油厂（609型）、上海染料化工七厂（Z-4型）。

06606 **甲醇气相胺化制甲胺催化剂** catalysts for methanol gas phase amination to methylamine

简要说明 本催化剂适用于甲醇与氨气相胺化制甲胺的过程，能使甲醇与氨反应生成一甲胺、二甲胺和三甲胺，其组成接近于热力学平衡值，根据市场需要情况，多余的一甲胺和三甲胺可以循环通过反应器，进一步转化为二甲胺。

也可用于乙醇气相胺化制乙胺的过程，使乙醇与氨反应生成一乙胺、二乙胺和三乙胺。同样，多余的一乙胺和三乙胺可循环通过反应器进一步转化为二乙胺。产品型号有A-2及A-6等。

基本配方 主要含有氧化铝和氧化硅，是由γ-Al_2O_3和丝光沸石组成。

性状 A-2型：外观白色圆柱体，外形尺寸ϕ(3.0～3.5)mm×(3～15)mm，堆积密度(650±50)kg/m^3，比表面>150m^2/g。

A-6型：外观白色圆柱体，外形尺寸ϕ3.5mm×(3～15)mm，堆积密度600～700kg/m^3，比表面>200m^2/g。

A-2 型催化活性如下：

（1）用于甲醇胺化 甲醇转化率 96%～98%，使用寿命＞6 个月。评价条件：反应温度 380～450℃，反应压力 2～4MPa，氨/甲醇（摩尔比）2～3，液体体积空速 2～3h^{-1}。

（2）用于乙醇胺化 乙醇转化率 88%，总胺得率 87%，寿命 1 年左右。

制法 以水玻璃、硫酸铝等为原料，经成胶、老化、晶化、水洗、压滤等过程制得丝光沸石，加入 γ-氧化铝等原料，经混合、碾合、挤条、干燥等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度约 400℃，反应压力 2.0～4.0MPa，氨/甲醇 1.5～3.0（摩尔比），液体体积空速 2～3h^{-1}。

生产厂家 上海石油化工研究院。

06607 **碳五馏分醚化催化剂** catalyst for etherification process of C_5 fractions

简要说明 本催化剂主要用于由 C_5 馏分与甲醇反应制取甲基叔戊基醚（TAME）的反应过程中，该反应过程是由甲醇与 C_5 馏分中的 2-甲基-1-丁烯和 2 甲基-2-丁烯发生醚化反应生成 TAME，其他成分不参加醚化反应。TAME 主要用作高辛烷值汽油的调和组分，也用于制备高纯异戊烯及用作为抗氧剂、增香剂、农作物保护剂、表面活性剂等的原料。

本催化剂具有醚化、加氢及双键移位三种功能，在醚化的同时将双烯烃加氢饱和，从面降低了胶质的生成量，改善了产品颜色，延长了催化剂寿命。用于生产 TAME 时具有不腐蚀设备，操作费用低，产品纯度高的特点，其性能优于普通的离子交换树脂型催化剂。

基本配方 采用离子交换树脂作为载体，担载某些活性组分制得。

性状 催化剂载体的交换容量为 4.7mmol/g，孔径 20～40μm，比表面 40m^2/g。

催化活性：异戊烯转化率（不回收 C_5 馏分）65%～70%，异戊烯转化率（回收 C_5 馏分进行第二次醚化）约 85%。

评价条件：反应温度 60℃，反应压力 0.65MPa，甲醇/异戊烯约

1.0（摩尔比），液空速 1.0h $^{-1}$。

制法 将制备好的离子交换树脂用含活性组分的溶液交换，然后经干燥及分解等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 55～65℃，反应压力 0.65MPa，甲醇/异戊烯 1.0（摩尔比），液体空速 1.0h $^{-1}$。

生产厂家 北京化工研究院。

06608 **MTBE 裂解制异丁烯催化剂** MTBE cracking Catalyst for isobutylene

简要说明 甲基叔丁基醚（MTBE）裂解法是生产高纯度异丁烯的有效方法。与其他方法相比，MTBE 催化裂解法选择性高，产物经水洗和精馏就可以得到高纯度异丁烯。

本催化剂具有转化率高、选择性好、稳定性优良的特点，并具有较宽的操作范围，可在 62%～138% 的负荷下正常运转，单程寿命长。催化剂的生产具有原料易得、制备方法简便、生产质量易于控制、无三废污染等优点。

基本配方 属负载型催化剂，由载体和活性组分组成。

性状 外观为条形，外形尺寸 ϕ1.6mm×(5～10)mm，堆积密度 750kg/m^3，比表面 233m^2/g，孔容 0.42cm^3/g，侧压强度 113N/cm。

催化活性：MTBE 转化率 90.50%，异丁烯选择性 100%，甲醇选择性 98.60%。

评价条件：反应温度 170～178℃，反应压力 0.50MPa，液体空速 2.0h^{-1}。

反应器为列管式固定床，内装列管 257 根，反应管规格 ϕ25mm×2.5mm×6000mm，管间用 YD-300 号导热油供热；催化剂装量 0.44m^3（330kg），床层高度 5500mm。

制法 先对载体进行筛选、整形、测定吸水率等处理，而后配制好浸渍液进行浸渍，然后经过滤、干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 反应温度 170～250℃，反应压力 0.1～0.70MPa，液体空

速 1～3h $^{-1}$。反应初期可采用 170～190℃的较低温度，随着反应的进行可逐步提高温度，催化剂的最高使用温度 250℃。

生产厂家　燕山石化公司研究院。

06609　ZSM-5 分子筛　zeolite ZSM-5

简要说明　ZSM-5（MFI 型）分子筛具有三维交叉直通孔道，并具有独特的择形裂化、异构化和芳构化性能，已在工业上应用于催化裂化、催化脱蜡、甲苯歧化、二甲苯异构化、乙烯苯烃化、甲醇转化制汽油、甲醇催化脱水制二甲醚及低碳烃的芳构化等过程中。ZSM-5 分子筛还具有很好的耐热性、耐酸性和水热稳定性，作为催化裂化催化剂组分，可提高汽油的辛烷值。对 ZSM-5 的改性提高其性能及 ZSM-5 分子筛的应用，还在进一步地开发之中。

化学组成　化学组成与 SiO_2/Al_2O_3 的值有关，一般为：Na_2O 2.1%～4.5%，Al_2O_3 2.3%～5.5%，SiO_2 80%～87%。

性状　外观为白色粉末状或条状，相对结晶度：Na 型≥85%，H 型≥95%；骨架密度（异辛烷测定）1.81g/cm^3；比表面 437～556m^2/g；热稳定性 1200℃分子筛可保持结构；水热稳定性 700℃水蒸气处理分子筛保持结构；吸附性能：吸附量正己烷 9.5%～10.5%，环己烷 1.9%～2.3%，水 9%～10%（SiO_2/Al_2O_3 = 38 时）。

催化活性（以甲醇脱水制二甲醚为例）：甲醇转化率约 80%，二甲醚选择性＞99%。评价条件：温度 160～170℃，压力为常压。空速 1.05h^{-1}。

制法　以硫酸铝和水玻璃为原料，以有机胺或无机氨为模板剂（南开大学开发了一种不用模板剂的直接法，此时不加模板剂），在一定温度、压力下水热合成，将得到的产品水洗、过滤、干燥、煅烧即得钠型成品。

使用条件　使用的领域不同，条件不同。以甲醇脱水制二甲醚为例，条件为：反应温度 154～170℃，反应压力为常压，空速 0.8～1.1h^{-1}。

生产厂家　上海染化七厂、南开大学催化剂厂、温州催化剂总厂等。

06610 铜铋催化剂 Cu-Bi catalyst

简要说明 铜铋催化剂是由乙炔与甲醛合成丁炔二醇的有效催化剂，反应方程式为：

$$HC{\equiv}CH + HCHO \longrightarrow HC{\equiv}C \cdot CH_2OH(\text{丙炔醇})$$

$$HC{\equiv}C{-}CH_2OH + HCHO \longrightarrow$$

$$HOCH_2 \cdot C{\equiv}C{-}CH_2OH(\text{丁炔二醇})$$

催化剂中活性组分是铜，在甲醛存在下铜与乙炔反应形成乙炔化物，所以真实的催化剂型式是乙炔铜与乙炔形成的络合物 $CuC_2 \cdot C_2H_2$。这种络合物只有在乙炔气氛下才是稳定的。由于乙炔铜活性过高，易发生乙炔聚合，造成爆炸危险，故在催化剂中加入铋抑制发生聚合的反应，使反应温度均匀、稳定，不出现“热点”，保证了安全。这是 BASF 开发的 Reppe 法生产1,4-丁二醇二步法中的一步。而后将丁炔二醇加氢就得到1,4-丁二醇。该法已工业化多年，较为成熟，但现在也有一些新工艺出现。

基本配方 以铜为活性组分，铋为助催化剂。通常含铜 12% 左右、铋 3% 左右，以硅酸镁为载体。在催化剂中铜和铋均以氧化物的形式存在。

性状 外观为球形，外形尺寸 $\phi3 \sim \phi5mm$，堆积密度 $900kg/m^3$，比表面 $120m^2/g$，孔容 $0.35cm^3/g$。

制法 将特制的载体通过浸渍方法载上铜及铋组分，再经干燥、煅烧过程制得成品。

使用条件 温度 180℃，反应压力为常压 ~0.5MPa，空速 $0.2h^{-1}$。

生产厂家 上海硅胶厂等。

06611 银镍催化剂 silver nickel catalyst

简要说明 蒽醌法生产 H_2O_2 在工业上是用 2-乙基蒽醌等为原料（称为工作载体），以重芳烃及磷酸三辛酯（TOP）为溶剂配成工作液，在催化剂作用下进行加氢反应，使蒽醌变成氢蒽醌。加氢后的工作液用空气氧化得到氧化液，它是蒽醌与 H_2O_2 的混合物。用水萃取氧化液将 H_2O_2 萃取出，萃取后的工作液再进行加氢形成制造 H_2O_2 的循环过程。但萃取 H_2O_2 后的工作液中含水和微量 H_2O_2，需经处理后才能再回到加氢过程，否则对加氢催化剂不利。通常是先用浓碳酸钾溶

$50m^2/g$，孔容 $0.33cm^3/g$，侧压强度＞50N/cm。

T-907 型催化活性：进口丙烯含硫(10～100)×10^{-6}，出口丙烯含硫＜0.5×10^{-6}，转化率＞99%。评价条件：温度 10～20℃，压力 0.6～1.8MPa，液空速 $5h^{-1}$，装填量 $5cm^3$。

TC-22 型催化活性：进口丙烯含硫：116.8×10^{-6} H_2S、0.7×10^{-6}COS，出口丙烯含硫：0.07×10^{-6} H_2S、0.01×10^{-6}COS；评价条件：温度 10～12℃，压力 1.0～1.62MPa。

制法 T-907 型：将活性氧化铝经一定方法成型，而后经浸渍、干燥、煅烧等过程制得成品催化剂。

使用条件 原料丙烯中总硫＜15×10^{-6}，温度 10～40℃，压力 1.0～5.0MPa，液体空速 2～$5h^{-1}$，水汽 (100～1000)×10^{-6}，原料中 CO_2 和 O_2 含量尽可能低；高径比＞3，采用 T-907 与 TC-22 串联。

生产厂家 西北化工研究院。

参 考 文 献

1 黄仲涛，曾昭槐等编著．石油化工过程催化作用．北京：中国石化出版社，1995
2 吴指南主编．基本有机化工工艺学．北京：化学工业出版社，1981
3 姜鹤忠编．催化氢化在有机合成中的应用．北京：化学工业出版社，1987
4 朱洪法编著．石油化工催化剂基础知识．北京：中国石化出版社，1995
5 抚顺石化公司石油三厂催化剂厂产品介绍（英文版）．1998
6 梁娟，王善钧主编．催化剂新材料．北京：化学工业出版社，1990
7 化学工业出版社组织编写．化工产品手册．新领域精细化学品．北京：化学工业出版社，1999
8 赵炳义，刘新香，李洪锡．石油化工，1991，20(4)：255
9 郑铁年．石油化工，1996，25(11)：806
10 陈金华等．石油化工，1999，28(12)：812
11 罗国庆，盛广杰，张秀兰等．石油化工，1999，28(8)：505
12 廖国勤，姚亚平，袁梅卿等．工业催化，2000，8(2)：40
13 赵亦农，戴伟，刘春英．石油化工，1997，26(8)：505
14 祝以湘，宋建华．石油化工，1998，27(3)：204
15 丁新三．石油化工，1996，25(6)：417
16 周小文，胡学武．工业催化，1999，7(3)：26
17 杨运信，杨忠伟，张丽斌等．工业催化，1999，7(4)：20
18 陈水福，朱志荣，姚亚平等．工业催化，1999，7(4)：50
19 王殿中，张冠华，舒兴田等．石油炼制与化工，1996，27(10)：52

第七章　均相催化反应催化剂

本章主要介绍均相催化的发展过程、不对称有机反应催化剂和生产聚烯烃的工业均相催化剂等内容。

第一节　均相催化的发展过程

反应物系和参与反应的催化剂处于同一相中的反应称为均相催化反应，这种催化剂称为均相反应催化剂。均相催化剂虽然也有气相、液相、固相等各种类别，但事实上气相和固相的均相催化剂很少见，在已出版的有关著作及综述中也很少论及。因而这里只讨论均相催化剂中用例最多、也最重要的液相均相催化剂。与多相催化剂相比，均相催化剂的反应温度通常在200℃以下。虽然催化活性低，但选择性高是其特征。在均相催化反应中，一般活性物种是单一的金属络合物。这样，用红外或者NMR等物理化学手段能跟踪反应，有时还能将反应中间体单独分离出来。进行X射线结构解析，因此采用均相催化剂的化学反应的机理更能从分子水平上加以理解，均相、多相催化剂比较见表7-1。

表7-1　均相、多相催化剂比较

比较项目	均　相	多　相
催化剂形态	可溶性(单核)过渡金属络合物	担持在无机氧化物上的金属或金属氧化物
催化剂热稳定性	低	高
反应相	液相	气相/固相
反应温度	低(200℃以下)	高(250～550℃)
催化活性	低	高
反应的选择性	高	低
催化剂的分离	困难	容易
反应机理	能在分子水平上相当明确地理解	在分子水平上解释机理相当困难

均相催化的应用已经随着我们对它的化学过程的了解而增长。随着均相催化的工业应用，反应机理的研究也展开了。机理研究的结果对获得反应的最佳条件和开发新型催化剂具有重要意义。均相催化反应机理的研究进展很快，该机理的许多基本原则也可应用到多相催化反应上。

均相催化的发展过程比起它的生产规模要给人更为深刻的印象。早在 1910 年，可溶性的金属盐类就在工业上用作乙炔反应的催化剂，而在可溶性催化剂的广泛使用是在 20 世纪 40 年代才开始的。在德国，由于战时受到原料的限制，导致出现了一些新的以 CO 为原料生产燃料和塑料的方法。更为引人注目的是，在 1940～1960 年间出现了许多新型聚酯、聚酰胺和乙烯基聚合物，这就要求在世界范围内发展一些新的方法来生产这些聚合物的单体。这些因素加速了均相催化过程的发展。

过渡金属有机化学的发展促进了新工业过程的出现。费歇尔（Fischer）、威尔金森（Wilkinson）、齐格勒（Ziegler）和纳塔（Natta）由于这方面的卓越工作赢得了诺贝尔化学奖。他们的这些工作为我们今天所知道的均相催化奠定了基础。导致均相催化在工业上广泛使用的主要优点是它的选择性，即产物纯、收率高。这种特征在制备药物和聚合物中间体中是非常重要的，因为它们必须是特别纯的。给人印象最深刻的或许就是手性征烯烃加氢生成单一的旋光异构体，收率在 90% 以上。这个方法后来在工业上被用来生产治疗震颤麻痹的 *L*-二羟基苯丙氨酸（*L*-DOPA）。

可溶性催化剂所催化的反应大多发生于过程可控制液相中。它的选择性可测定。不仅反应温度和混合操作要比在多相催化体系中容易控制，而且催化剂活性物种的性质也可以被调节得更加有效，催化剂和配位体的浓度控制要比在固体表面上容易做到。均相催化发展到今天，人们利用它选择性高的优点将过去认为只有在生物体内才可以发生的手性征反应逐渐实现工业化。

目前，手性化学被认为对未来的医药开发提供了一个新的高科技视角。现代分子药理学的研究表明：许多药物、农药的生理活性是通过生物体内大分子之间的严格手性匹配与分子识别而实现的。药物手

性化合物异构体在生理活性、药效和毒性等方面存在着明显差异或截然相反的作用。据统计，采用手性技术生成的产品全球销售额从1997年的约14亿增加到2000年的18亿美元以上，年平均增长为8.6%。大批新兴生物技术公司对手性药物倾注了越来越浓厚的兴趣，并为其提供了新的发展空间和动力。现在约80%的手性产品与药物有关。手性产品用于制剂和作为手性化合物销售约占90%，其余10%为分析试剂，这一百分比预计在今后6年内将分别占92%和8%，这反映了手性技术的发展重点是手性中间体的生产。在现有的528种手性药物中，仍有467种以外消旋体给药。据报道，以单一对映体上市的药物在1993年和1994年的销售额分别为369亿和495亿美元，年增长率为27%。预计本世纪将有80%的合成药物要求使用单一立体构型化合物，这是现代医药发展的必然趋势，具有巨大的市场潜力。

第二节　不对称有机反应催化剂

07201　**2,2′-双(双苯基膦)-1,1′-双萘基铑络合物**　the BINAP-Rh^+ complex

主要牌号及其他名称　阳离子型BINAP-Rh络合物

简要说明　这种阳离子型Rh络合物能使稀丙胺高度对映体选择性地异构化为烯胺，是一种新型的均相催化剂。如：**双**己基陇牛儿基胺或双己基橙花基胺在THF中转变成香草醛（*E*）-双己基烯胺。比值95%～99%。显然，BINAP催化剂使C_1中的一个氢对映高选择性地转到了C_3上。这个1，3-氢转移反应依赖于烯的构型。

结构　Rh[binap(diene)]ClO_4或[Rh(binap)(溶剂)$_n$]ClO_4

制法　从1,1′-联二萘酚出发制备外消旋二苯基膦**双**萘配体，然后利用手性试剂进行拆分得到单一的手性配体，它与铑的高氯酸盐在合适的溶剂中反应就可制得手性催化剂。

使用条件　在常压下进行反应，反应开始时常温搅拌15～20分钟，然后，反应体系恒温40℃，反应40h即可。

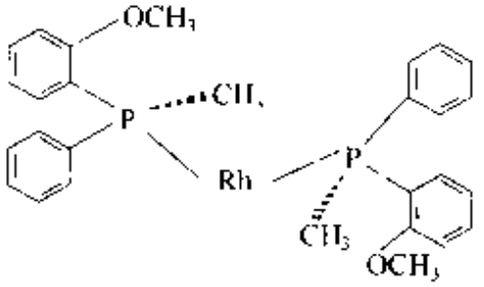
生产厂家　日本，Nagaya University；Osaka University.

07202　**铑的膦配体（DIPAMA）络合物**　DIPAMA-rhodium complex

主要牌号及其他名称　Dipanp-rhodium complex

简要说明　Rh 与许多磷配体形成的络合物可以作为不对称氢化反应的催化剂，用于工业生产 *L*-Dapa（多巴）。多巴主要用于治疗帕金森氏病（老年人因肌肉僵硬或身体衰弱而引起的慢性震颤症）。该反应产物 e.e.% 值很高，为制备 α-氨基酸尤其是芳香氨基酸提供了一个新的生产方法。

结构



性状　固态物质，在无氧或 H_2O_2 的存在下也十分活泼。

制法　催化剂的制备：1mol 的金属铑与 2mol 配体在乙醇或 2-丙醇中反应即可制得。

配体 Dipamp 的合成请参见文献 B. B. vineyard, W. S. Knowles, M. J. Sobacky, G. L. Bachman. O. J. weinkauff. J. Am. Chem. Soc 995946 (1977)

使用条件　通常在 0.3MPa 气压，50℃ 条件下反应。底物与催化剂的比为1000/1。

生产厂家　孟山都工业研究部。

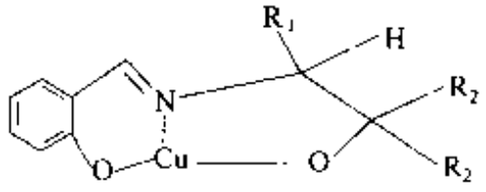
07203　**铜螯合物催化剂**　a copper chelate

主要牌号及其他名称　R-7644；R 构型，R_1 为苄基，R_2 为 2-丁氧基-5-叔丁基-苯基

R-1648；R 构型，R_1 为甲基，R_2 为 5-叔丁基-2-辛氧基苯基

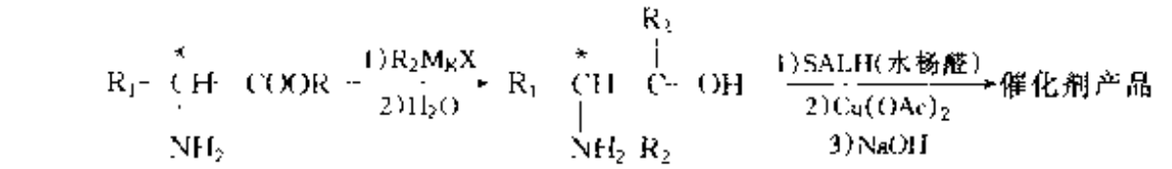
一般为二聚形式的螯合物

结构



性状　在空气中可以稳定存在的绿色物质。

制法　光学活性的 α-氨基酸酯与过量的格氏试剂反应得到光学活性的氨基醇，它与水杨醛、二乙酸铜反应，用氢氧化钠处理就得到所需催化剂。



使用条件　室温下加入，加热 70～80℃ 开始反应。

生产厂家　住友公司。

07204　Ti-酒石酸络合物　the titanium-tartrate complex

简要说明　采用 Ti-酒石酸催化剂进行烯丙醇的不对称环氧化作用比以前所有的不对称方法都要好。环氧化方法简单，所需试剂容易得到，该法的选择性极高，并且可以得到任一对映体选择的产物，该方法在天然产物的合成中也得到了广泛的应用。

基本配方及结构　由四异丙氧基钛[Ti(*o*-*i*-Pr)$_4$]:L-(t)-或 D(-)-酒石酸乙酯＝2:2.4 和叔丁基过氧化氢 TBHP 组成。

使用条件　一般Ti(*o*-*i*-Pr)$_4$ 和酒石酸乙酯在 －20℃ 下混合，再加 TBHP，三种物质在 －20℃ 下充分搅拌 20～30min 后加入反应物。

注：Ti(*o*-*i*-Pr)$_4$：酒石酸乙酯最佳比为 2:2.4。若改变它们的比例，将会引起相反的对映选择性。

其他　Sharpless 及其同工作者对上述的环氧化方法进行改良，即用催化量（较少量）的Ti(*o*-*i*-Pr)$_4$ 和酒石酸二乙酯，且要有 0.3nm 或 0.4nm 分子筛存在，若无分子筛存在，用 5%～10%（摩尔比）的Ti(*o*-*i*-Pr)$_4$，一般得到较低的转化率和对应选择性。

有分子筛存在可得到高的转化率（＞95%）和高的对应选择性(90%～95% e.e)。有时反应时间也可以缩短，比较难的环氧化肉桂醇也用该法。

应用催化量的钛-酒石酸酯的不对称还氧化比原来化学计算量有许多优点：

（1）经济，只用催化量的物质。

（2）产率高，减少了不稳定环氧醇分解。

（3）非常简单的分离步骤。

(4) 副产物少。

(5) 其他不必要产物很少。

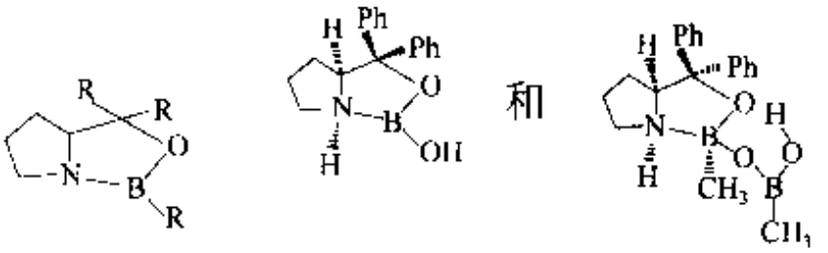
生产厂家　Merck Sharp. & Dohme Research Laboratories. Rahvay, New Jersey 07065—0900。

07205　**含氮、氧杂环的硼烷催化剂**　the oxazaborolidinecatalyst

主要牌号及名称　MK-0417

简要说明　MK-0417 是 MK-927 的一个光学对映体，主要是用于治疗青光眼（绿内障）。由于发展的需要，最重要的一步就是羰基的不对称还原需要手性催化剂硼烷试剂。（MK-0417 是水溶性的碳的脱水酶抑制剂）

结构　催化剂结构：被筛选的催化剂有两种：



制法　催化剂由天然的脯氨酸制备，详细过程请参考文献 Mathre D. J, Jone T. K, Xavier. Lc, Blacklack. T. J, Keamer. R. A, Mohan J. J., Jones. E. J. Hoogsteen. K, Raum. M. W, Grabouski. E. J. J. org. chem., 56, 2, 1992。

使用条件　酮和硼烷试剂加入溶于四氢呋喃的催化剂中，需冷却到 -15℃。反应过程中保持温度低于 -10℃，一般得到 >93% 的理想对映体。

生产厂家　Merck shopp. 81 DOHme Research Laboratories. Rohway. Now Jeersey 07065-0900.

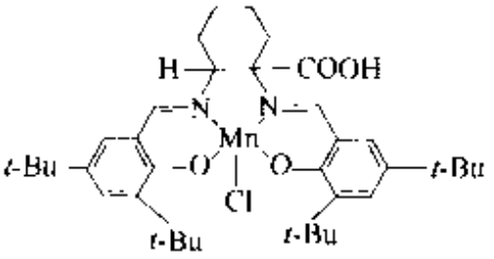
07206　**环氧化 Mn（Ⅲ）催化剂**　Mn（Ⅲ）salen epoxidation catalyst

主要牌号及其他名称　代号：La-C, N, N′-his（socicylideneamine）ethane. Mn（Ⅲ）complex

简要说明　这种催化剂对于合成一系列不同的二甲基苯并二氢吡喃及其衍生物有相当高的对映体选择性。Ee 值达到 90% 以上，尤

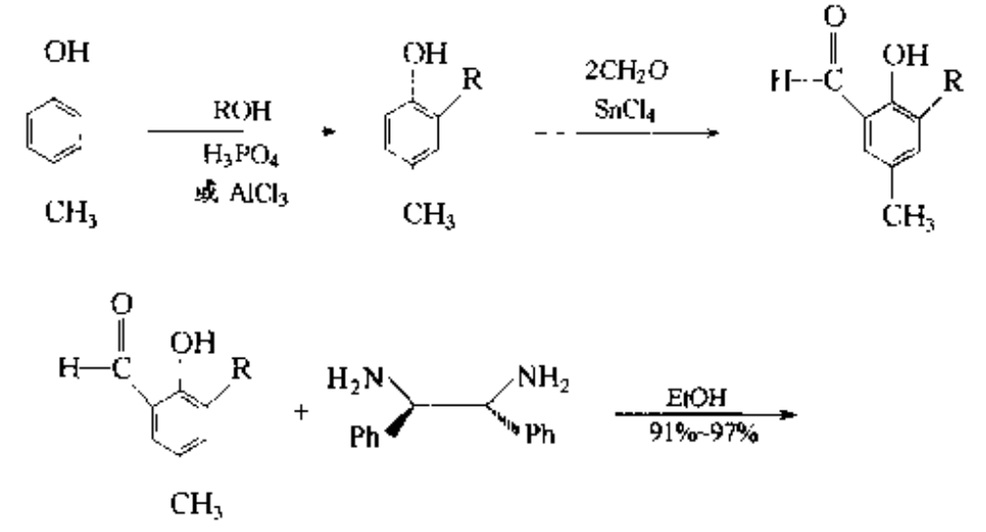
其是这种方法用来合成降血压药物中起疗效的纯种对映体（这种选择性不受空间因素，电性因素的影响）。

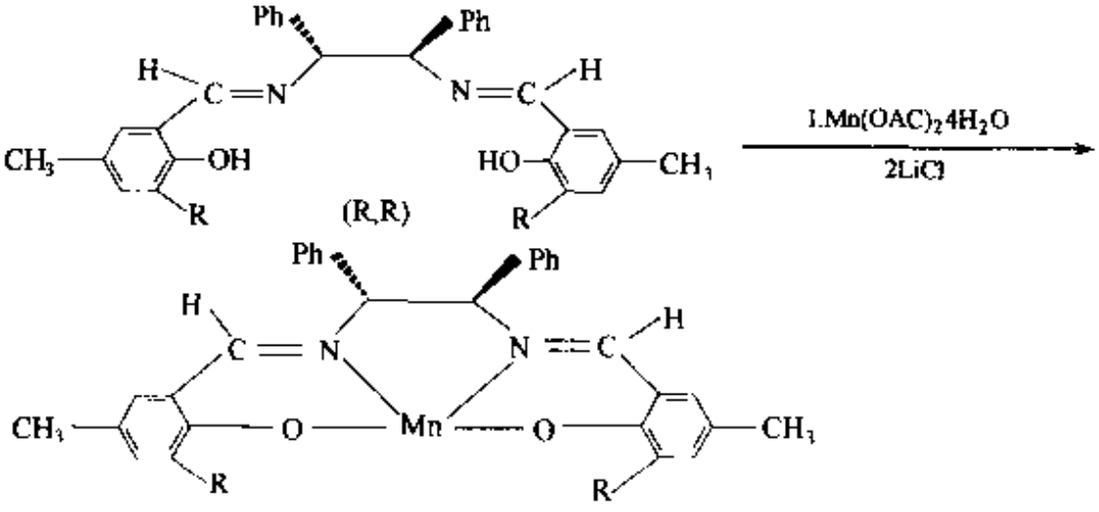
结构



性状　Mn 络合物热稳定性好，能以无定形固体存在，且不受光、空气、潮湿的影响。

制法　以对甲基苯酚为原料经烷基化、酰基化反应，所得产物与光学活性的1,2-二苯基乙二胺反应制得光学活性的手性配体，加入醋酸锰，在氯化锂的作用下，便可制得催化剂。





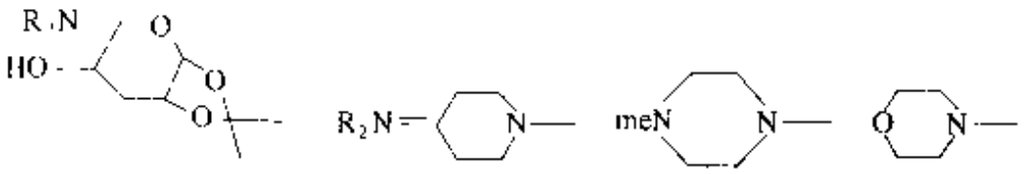
生产厂家　University of Illinois，Urbani，IL 6．1801

07207　1,2-异亚丙基-5-脱氧-5-二烷基胺-α-D-木呋喃糖

1,2-isopropylidene-5-deoxy-5-dialkylamino-α-D-xylofuranoses

简要说明　这种催化剂用于二乙基试剂对醛进行对映体选择性加成，反应得到的二级醇 e.e% 达 75% ~96%。

结构



制法　由 1,2-异亚丙基-5-O-P-硫代甲苯-α-D-木呋喃糖和相应的胺制备。

使用条件　以相当于醛的物质的量的 0.05 倍量加入。在 25℃ 就可以反应，升高温度反应速度加快，到 70℃ 反应就可完成。

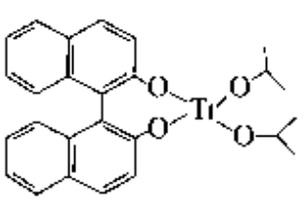
生产厂家　Hallym University Chuncheon 200-702 Republic of Korea

07208　**联二萘酚钛络合物**　Ti（BINOL）complex

主要牌号及其他名称　Ti（BINOL）络合物

简要说明　可以高效的催化二乙基锌对醛类物质的对映体选择性加成，产物光学产率达 95.6%。

结构



性状　橙红色液体。

制法　在氮气保护下，光学活性联-2-苯酚:四异丙氧基钛 = 1:7（摩尔比），在二氯甲烷中，搅拌 10min 即可制得。

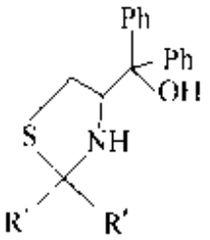
使用条件　在氮气保护下，整个反应体系保持 0℃，搅拌 5h，反应比较完全。

生产厂家　The Hong Kong Polytechnic University

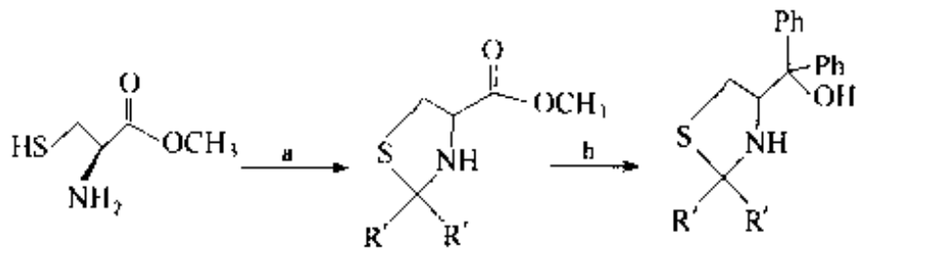
07209　**光学活性 2,2-二取代-硫代脯胺醇衍生物**　Chiral 2,2-Disubstituted thiaprolinol derivatives

简要说明　该种催化剂既可对芳香酮进行还原，又可对芳香醛进行加成。

结构



制法　L-半胱氨酸甲酯经氮烷基化反应，所得产物与格氏试剂在四氢呋喃中作用就可制得合适的催化剂。



$R'=H,CH_3,C_2H_5$　$R'=+CH_2+_5,+CH_2+_6$

a 表示R′C(O)R′(过量)。

b 表示 PhMgCl，THF，0～25℃ 16h 产率 60%～80%。

使用条件　还原：无水四氢呋喃为溶剂，10%（摩尔）催化剂，$BH_3\cdot Me_2S$ 在 50℃ 反应 16h。

加成：甲苯为溶剂，10%（摩尔）催化剂，室温搅拌 24h。

生产厂家　Division of Natural Product and Medicinal Chemistry。

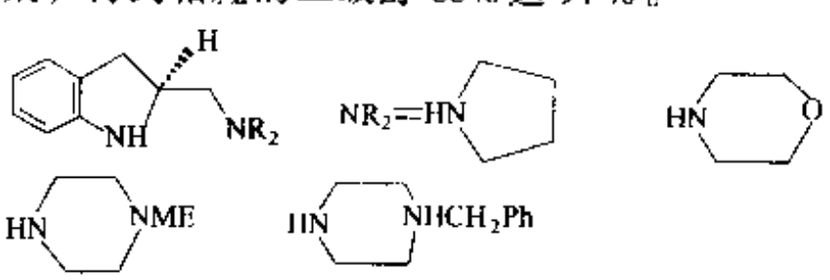
Development Center for Biotechnology 102. lane 169。

Kang-Ning ST，His-chih，Taiwan，Roc。

07210　(*S*)-2-(*N*,*N*-二取代氨甲基)**二氢吲哚** (*S*)-2-(*N*,*N*-disubstitued aminomethy) **indoline**

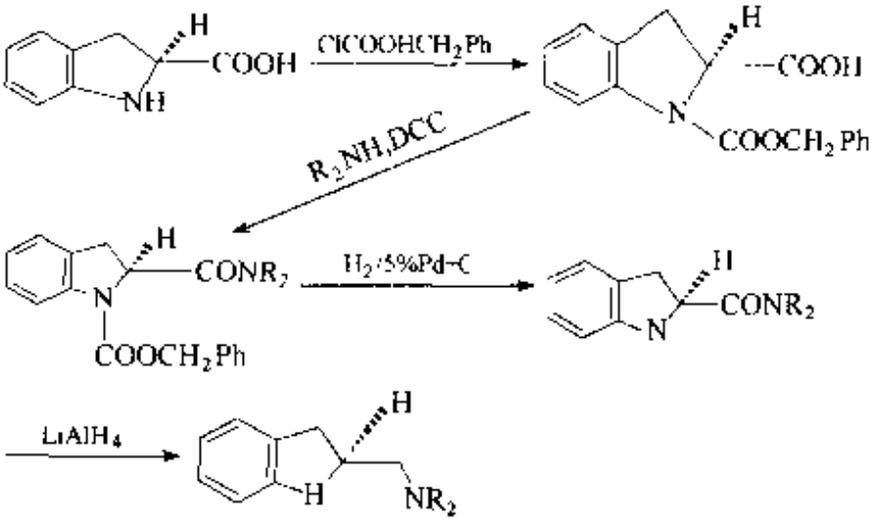
简要说明　在二烷基锌试剂对醛的不对称加成反应中，加入 15mol% 的催化剂，得到相应的二级醇 ee% 达 97%。

结构



制法　(*S*)-二氢吲哚-2-甲酸与氯甲酸苯甲酯反应，所得产物与胺作用使羧基变为酰胺基，然后用氢气/钯炭催化剂和四氢铝锂还原就可

得到合适的催化剂。



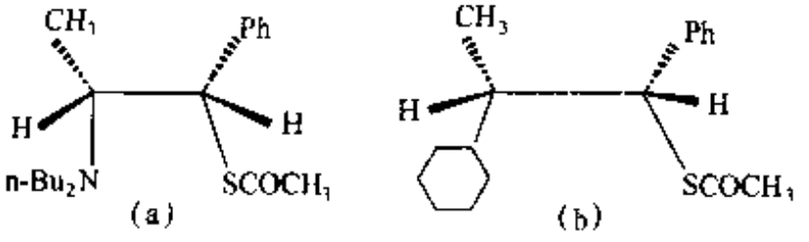
使用条件　0℃，反应15h，以环己烷-己烷混合物为溶剂。

生产厂家　Department of synthetic chemistry, Facacty of Engineering. Yokohama National University. To kiwadai, Hodogaya-ku. Yokohama 240-8501 Japan。

07211　**光学活性硫代乙酸胺**　optically active amino thioacetes

简要说明　二乙基试剂对醛基加成的高效催化剂，得到光学活性二级醇 e. e%大于99%。

结构



制法　催化剂由（+）-降麻黄碱开始经三步反应制备得到，具体方法如下：

（+）-降麻黄碱与2.4倍物质的量的碘丁烷、K_2CO_3存在下于乙醇中回流，较高产率的得到*N*,*N*-2-丁基降麻黄碱。在-20℃*N*,*N*-2-丁基降麻黄碱与甲基碘酰氯、三乙胺在无水二氯甲烷中进行甲磺酰化反应。然后，除去溶剂，将残留物溶于H_2O/DMF（1/1），加入过量的硫代乙酸钾就可以得到催化剂（a），用相似的方法可得到催化剂（b）。

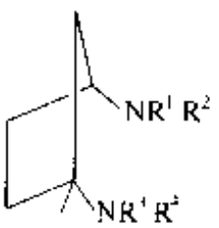
使用条件　在0～20℃时，在环己烷中加入5%（摩尔）的催化剂即可反应。

生产厂家　Department of chemical Engineering Znha University, Znchon 402～751, Korea。

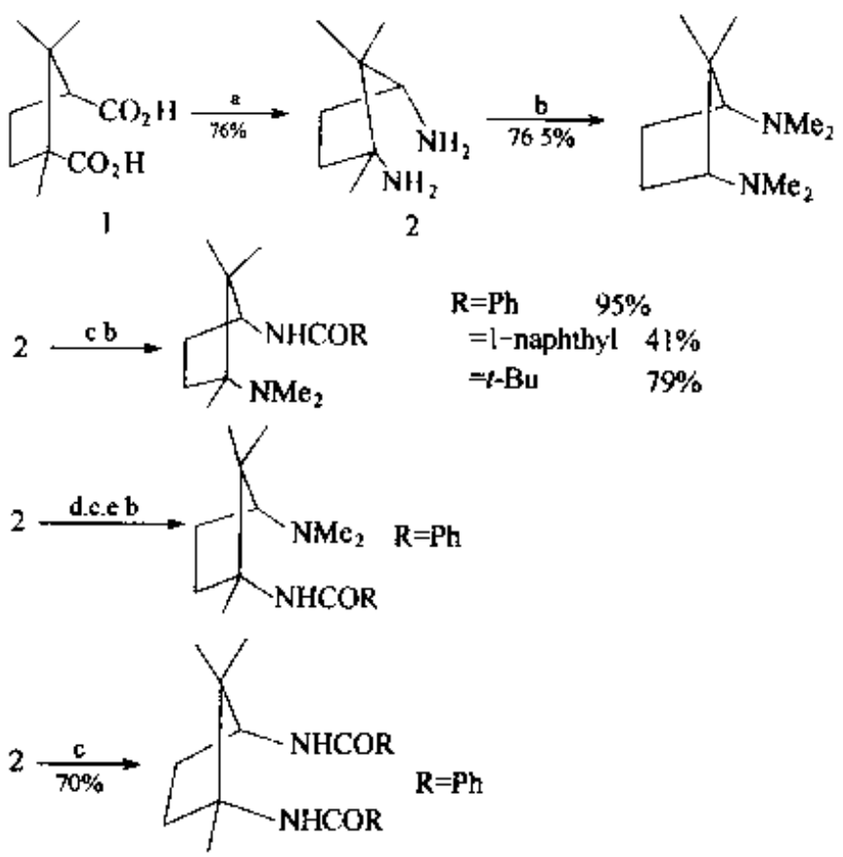
07212　(1*R*,3*S*)-1,2,2-三甲基-1,3-环戊烷二胺 (1*R*,3*S*)-1,2,2-trimethyl-1,3-cyclopentanediamine

简要说明　该催化剂用于金属有机物对羰基化合物的不对称加成反应中。

结构



制法　(1*R*, 3*S*) -1, 2, 2-三甲基-1, 3-环戊烷二酸与叠氮胺钠、硫酸在三氯甲烷中反应 1h 就可得到 (1*R*, 3*S*) -1, 2, 2-三甲基-1, 3-二氨基环戊烷，然后，根据实验的需要，(1*R*, 3*S*) -1, 2, 2-三甲基-1, 3-二氨基环戊烷与不同的胺反应就可制得不同的催化剂。



a: NaN_3, H_2SO_4, $CHCl_3$, 55～65℃ 1h
b: aq HCHO—HCOOH 回流 20h
c: RCOCl, NEt_3, CH_2Cl_2, 约 78℃
d: $PhCH_2OCOCl$ NEt_3
e: H_2, Pd/c

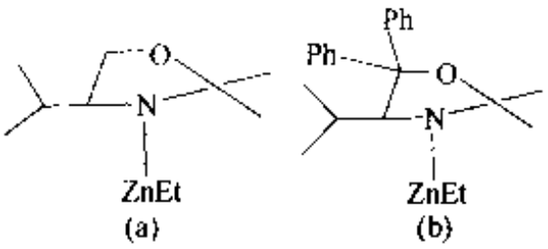
使用条件　在 0℃，约 20℃，约 78℃，约 100℃，以 PhMe-Et_2O，Et_2O，PhMe-hexane 等溶剂进行反应。

生产厂家　Department of Biomolecular Engineering Tokyo Znstitute of Technology，Ookayama. Meguro Tokyo 152 Japan.

07213　**噁唑烷的锌氨盐**　zinc amides of oxazolidines

简要说明　用于二乙基锌试剂对醛类物质不对称加成的新的催化体系。

结构



制法　在相应的噁唑烷溶液中加入二乙基锌试剂，在室温下缓慢的反应生成催化剂（a），加热到 80℃，生成催化剂（b）。

使用条件　0℃，加入 10%（摩尔）催化剂反应 4～8h 即可。

生产厂家　Division of Organic Synthesis. National Chemical Laboratory. Pune-411008，Endia

第三节　生产聚烯烃的工业均相催化剂

07301　**金属戊催化剂**　metallocene catalyst

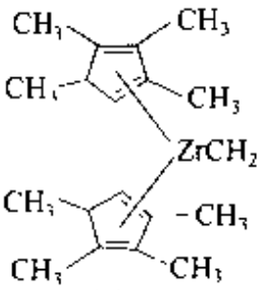
主要牌号及名称　A：二（四甲基戊二烯基）二氯化锆 $[(CH_3)_4CP]_2ZrCl_2$

B：二甲基硅桥二茚基二氯化锆 $(CH_3)Si(Znd)_2ZrCl_2$

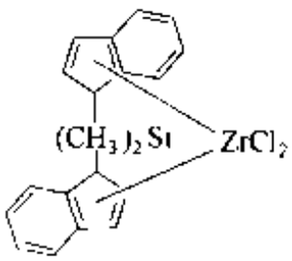
C：碳桥链联不同配位基团的桥联金属茂

简要说明　金属茂催化剂用于催化烯烃聚合，该催化剂具有优异的性能；（1）高催化活性，较 Z-N 催化剂高出 1～2 个数量级。（2）单一活性中心，聚合物分子量分布窄 Mw/Mn＝2～4，共聚单体分布更加均匀，具有独特的分子裁减性。（3）均匀催化，活性中心均匀，催化效率达 100%。（4）高立构规整选择性，可制备性能特殊的新型聚合物。

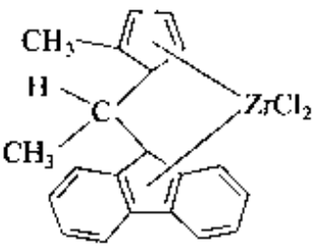
结构



(a)



(b)



(c)

制法　催化剂由茂基及过渡金属化合物和有机金属化合物如甲基铝氧烷(MAO)组成，将其溶于某些溶剂可制成具有均相活性的均一液体。使用苯和甲苯做溶剂效果最佳，助催化剂用 MAO 时活性最高，立体规整选择性最好。

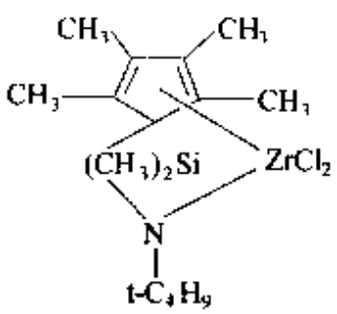
使用条件　在 150～200℃，150Pa 压力下。

生产厂家　美国 Exxon 公司，日本三菱公司。

07302　**二烷基硅桥环戊二烯基叔丁基胺钛（锆）化合物**　titanium (zirconium)dialkyl endo-silicon cyclopentadiethyl tert-butylamine

简要说明　该催化剂用于催化乙烯与 1-辛烯共聚，获长链长支化线性聚乙烯。

结构



制法　由茂基及过渡金属化合物和有机金属化合物如甲基铝氧烷(MAO)组成，将其溶于某些溶剂可制成具有均相活性的均一液体。使用苯和甲苯做溶剂效果最佳，助催化剂用 MAO 时活性最高，立体规整选择性最好。

生产厂家　西班牙 美国 DOW 化学公司。

07303　**三氯化钛/氯化二烷基铝**　$TiCl_3/AlR_3Cl$　titanium trichloride/aluminum dialkyl chloride

简要说明　工业生产聚丙烯的催化剂。

制法 制紫色晶体 $TiCl_3 \cdot \frac{1}{3} AlR_3Cl$ 的庚烷悬浮液在丙烯存在下用二乙基氯化铝处理。

使用条件 反应在室温和 0.3～0.4MPa 下迅速发生，得到高等规模的聚丙烯。

生产厂家 美国化学公司。

07304 **氯化乙基铝/三氯氧钒** $Al_2Et_3Cl_3/VOCl_3$ aluminium ethyl chloride/vanadylic chloride

简要说明 工业生产乙烯-丙烯共聚物，在工业应用中用来代替橡胶。

制法 由以 $Al_2Et_3Cl_3$ 或 $VOCl_3$ 为基础的齐格勒催化剂制得的。

使用条件 把反应溶液冷却到 15℃，并在 0.1MPa 下用乙烯-丙烯混合物饱和，加入二烯烃，随后加入催化剂组分即可。

生产厂家 美国化学公司。

07305 **齐格勒催化剂、菲力普催化剂** Ziegler catalyst、Phillips catalyst

牌号 齐格勒催化剂：$TiCl_x/AlR_3$

菲力普催化剂：Cr/SiO_2

简要说明 制备聚乙烯的催化剂。

性状 褐色絮状沉淀。

制法 齐格勒催化剂是通过三烷基铝化合物与 $TiCl_4$ 或 $TiCl_3$ 在环己烷或庚烷中反应。

菲力普催化剂是由氧化铬沉积在二氧化硅上制得。

使用条件 催化剂溶液随着乙烯压力从 1MPa 到 16MPa 大气压下送到反应皿，在 130～270℃反应迅速发生。

生产厂家 美国联合碳化合物公司。

07306 **钛、钴齐格勒催化剂等** Ti（Co）Ziegler catalyst

主要牌号 产生顺式构型的聚合物的催化体系主要有四种：

（1）烷基锂，通常是 BuLi；

（2）用碘化物改性的 Ti 系齐格勒催化剂；

15　Hsiang-Ling Huang, Ya-Chuan lin, Shyh-Fong. Chen, et. al. Tetrahedron: Asymmetry, 7, 11, 3067-3070, 1996

16　Shin ichi Znoue, Hidemasa Takaya, Kazahide Tan, Sei otsuka, Tsuneo Sato and ryoji Noyoi. J Am. Chen. Soc., 1990, 112., 4897-4905

中 文 索 引

A

安息香（04501）
安息香醚（04502）
安息香双醚（苯偶酰缩酮）(04503)
氨分解催化剂（03306）
氨合成催化剂（02603）
氨合成铁钴催化剂（02602）
氨合成铁系催化剂（02601）
氨燃烧制氮催化剂
D101Q 型（03307）
D201Q 型（03307）
氨氧化制硝酸催化剂（02702）

B

半合成分子筛催化裂化催化剂（05206）
苯胺基多次甲基（04527）
苯酚加氢催化剂（06202）
4-苯基二甲苯酮（04514）
2-苯基-2-(*N*,*N* 二甲基)氨基-1-(4-吗啉苯基)-丁酮（04510）
苯加氢催化剂（06201）
4-苯甲酰基-4′-甲基二苯硫醚（04513）
苯偶姻（04501）
苯烷基化催化剂（06504）
苯系列 VOC 废气燃烧催化剂（03401）
苯系列有机废气净化催化剂（03401）
苯酰化过氧（04113）
苯氧化制顺酐催化剂（06404）
丙烯氨氧化制丙烯腈催化剂（06608）
丙烯醛氧化制丙烯酸催化剂（06407）
丙烯水合催化剂（06602）
丙烯脱 氧化碳催化剂
NCT-108 型（03502）
C18 型（03502）
丙烯氧化制丙烯醛催化剂（06405）
丙烯氧化制丙烯酸催化剂（06406）
丙烯液相精脱硫催化剂（06612）
铂铼重整催化剂（05304）
铂铼钛重整催化剂（05305）
铂锡重整催化剂（05303）
部分贵金属型汽车尾气净化催化剂（03102）

C

柴油加氢脱蜡（临氢降凝）催化剂（系列）(05424)
柴油降凝催化剂（05605）
常压渣油加氢脱硫催化剂（05412）
超稳 Y 型分子筛催化裂化催化剂（05205）
重整保护催化剂（05310）
重整催化剂
3961 型（05309）
CB-11（05308）
重整催化剂（系列产品）(05301)
重整预加氢催化剂（05411）
重整原料加氢精制催化剂（05408）

抽余油加氢催化剂（05423）
除氧催化剂（03508）
粗脱硫用活性炭（03206）
催化还原脱硫催化剂（Ⅰ）(03203)
催化还原脱硫催化剂（Ⅱ）(03204)
催化还原脱硫催化剂（Ⅲ）(03205)
MGG催化裂化催化剂（05210）

D

单铂重整催化剂（05302）
低铂重整催化剂（05307）
低铝分子筛催化裂化催化剂（05202）
低压合成甲醇催化剂（02502）
第三丁基过氧化氢（04105）
丁炔二醇加氢催化剂（06205）
丁烯氧化脱氢钼铋系催化剂（06305）
对苯氧基-2,2-二氯苯乙酮(04507)
对异丙基苯基-2-羟基-2,2-二甲基-1-丙酮（04505）
多产液化气裂化助剂（CA系列）(05217)
多功能净化催化剂（03509）

E

噁唑烷的锌氯盐（07213）
二苯甲酮（04511）
二段转化催化剂（02203）
二甲苯异构化催化剂（06505，06506）
2，4-二甲基硫杂蒽酮（04517）
二枯茗过氧（04114）
2，4-二氯硫杂蒽酮（04518）
(*S*)-2-(*N*,*N*-二取代氨甲基)二氢吲哚(07210)
二烷基硅桥环戊二烯基叔丁基胺钛（锆）化合物（07302）
二氧化硫氧化催化剂（SI系列）(02701)
2,2-二乙氧基苯乙酮（04504）

F

发乳剂N(04102)
钒触媒（02701）
芳基环戊二烯络合物（04522）
芳烃脱烷基制苯催化剂（06507）
芳香族稠环或杂环甲酸过氧叔丁酯(04520)
芳香族单环甲酸过氧叔丁酯（04519）
芳香族锑盐（04524）
防毒面具用催化剂（03510）
非贵金属型汽车尾气净化催化剂(03103)
废水湿式氧化处理催化剂（03511）
分子筛
Y型（05601）
ZRP（05214）
ZSM-5（06609）
蜂窝型陶瓷催化剂（03403）
浮石银催化剂（06412）

G

改性铜硅胶催化剂（06210）
干燥用分子筛（03516）
高铼超低铂重整催化剂（05306）
高铝分子筛催化裂化催化剂（05203）
高效钯铝催化剂（03506）
高效脱氧剂（03503）
高辛烷值裂化催化剂DOCP-L（05209）
工厂尾气净化催化剂（03305）
骨架富硅分子筛SRY(05215)
骨架镍（雷尼镍）催化剂（06209）

缓和加氢裂化催化剂（05506）
活性炭吸附剂（03514）
活性氧化铝干燥剂（03513）
活性氧化铝脱硫催化剂（03204）
活性支撑催化剂（05607）
霍加立特催化剂
MC-15 型（03510）
DB-75 型（03510）
DB-83 型（03510）

J

加氢保护催化剂（05420）
加氢催化剂（05428）
加氢精制催化剂（481 系列产品）（05403）
加氢精制催化剂（CH 系列产品）（05401）
加氢精制催化剂（RN 系列产品）（05402）
加氢精制催化剂
3722 型（05406）
3822 型（05405）
CH-17 型（05410）
FH-5 型（05416）
FH-98 型（05417）
加氢裂化催化剂（系列产品）(05501)
加氢脱除二烯烃和炔烃催化剂（06207）
加氢脱氮催化剂（05419）
加氢脱蜡（临氢降凝）催化剂（05425）
加氢脱硫催化剂（05418）
JT203 加氢脱硫脱砷催化剂（02114）
加氢脱砷催化剂（系列产品）（05422）
加氢脱铁催化剂（05421）
甲苯歧化与烷基转移催化剂（06503）
甲苯歧化与烷基转移催化剂
ZA 系列（06501）
ZA-92 型（06502）
甲醇合成催化剂（02501）
甲醇气相胺化制甲胺催化剂（06606）
甲醇脱氢催化剂（06307）
1-[(4-甲硫基)苯基]-2,2-二甲基 2-吗啉丙酮(04509)
甲烷化催化剂（02401）
间二甲苯氨氧化制间苯二甲腈催化剂（06410）
焦化柴油加氢裂化催化剂（05505）
CH-16 焦化蜡油加氢精制催化剂（05409）
金属钝化剂（05220）
金属茂催化剂（07301）
菁染料（04525）
精粗脱硫用活性炭（03207）
Ti-酒石酸络合物（07204）

K

抗钒催化裂化催化剂（05213）

L

铑的膦配体（DIPAMA）络合物（07202）
联二萘酚钛络合物（07208）
炼厂气蒸汽转化催化剂（02207）
裂化催化剂（05204）
裂解催化剂（05216）
裂解汽油二段加氢催化剂（06212）
裂解汽油一段加氢催化剂（06211）
裂解汽油一段加氢催化剂
RDD-1 型（06214）

裂解汽油一段加氢低钯壳层催化剂（06213）
MTBE裂解制异丁烯催化剂（06608）
邻二甲苯氧化制苯酐催化剂（06402）
硫化剂DCP(04114)
硫磺回收催化剂（03205）
硫回收催化剂（03203）
馏分油加氢精制催化剂（05404）
六芳基双咪唑（04523）
2-氯代硫杂蒽酮（04515）
氯化二苯甲酮（04512）
氯化乙基铝/三氯氧钒 $Al_2Et_3Cl_3/VOCl_3$（07304）
络丹明染料（04526）

N

萘氧化制苯酐催化剂（06403）
镍钼加氢转化脱硫催化剂（02103）

O

偶氮二甲基戊腈（04103）
偶氮二异丁腈（04102）
偶氮二异庚腈（04103）
2,2′-偶氮双(2,4-二甲基戊腈)(04103)

Q

齐格勒催化剂、菲力普催化剂（07305）
其他加氢脱硫催化剂（02105）
其他脱硫剂（03211）
其他吸附剂类（Ⅰ)(03512)
其他吸附剂类（Ⅱ)(03513)
其他吸附剂类（Ⅲ)(03514)
汽车排气净化催化剂（03101，03102，03103）
汽车排气控制催化剂（03101，03102，03103）
2-羟基-2,2-二甲基-1-苯基-1-丙酮（04506）
1-羟基-环已基苯甲酮（04508）
强酸性阳离子交换树脂（04201）
强碱性阴离子交换树脂（04301）
3825轻油型加氢裂化催化剂（05504）
3905轻油型加氢裂化催化剂（05508）
轻油蒸汽转化催化剂（02205）
全白土型裂化催化剂LB-1(05207)
全白土型裂化催化剂LB-2(05208)
全氟磺酸树脂（04401）

R

润滑油加氢精制催化剂（05414）
润滑油加氢脱蜡催化剂（05427）
润滑油加氢脱蜡（临氢降凝）催化剂（系列)(05426)

S

三芳基硼烷络合物（04521）
三芳甲烷系（04528）
(1*R*,3*S*)-1,2,2-三甲基-1,3-环戊烷二胺（07212）
三氯化钛/氯化二烷基铝（07303）
石蜡加氢精制催化剂（05407）
石脑油蒸汽转化催化剂（02206）
叔丁基过氧化氢（04105）
2,2′-双(双苯基膦)-1,1′-双萘基铑络合物（07201）
水处理用催化剂（03511）
COS水解催化剂（03405）

T

钛、钴齐格勒催化剂等（07306）
碳三选择加氢催化剂（06206）
碳四馏分选择加氢催化剂（06208）
碳五馏分醚化催化剂（06607）
锑锡复合金属钝化剂（05221）
天然气一段蒸汽转化催化剂（02201）
铁锰脱硫剂（02110，03208）
烃类二段蒸汽转化催化剂（02203）
烃类净化催化剂（03402）
烃类有机废气处理催化剂（Ⅰ）（03402）
烃类有机废气处理催化剂（Ⅱ）（03403）
烃类有机废气处理催化剂（Ⅲ）（03404）
烃类有机废气处理催化剂（Ⅳ）（03405）
铜螯合物催化剂（07203）
铜铋催化剂（06610）
铜系脱氧催化剂（03504）
铜-13X 型催化剂（03404）
铜-13X 型分子筛催化剂（05602）
脱 CO 类催化剂（Ⅰ）（03501）
脱 CO 类催化剂（Ⅱ）（03502）
脱硫催化剂（03201，03202）
PDS 脱硫剂（03211）
脱硫吸附剂（Ⅰ）（03206）
脱硫吸附剂（Ⅱ）（03207）
脱硫吸附剂（Ⅲ）（03208）
脱硫吸附剂（Ⅳ）（03209）
脱氯催化剂（03507）
脱氯催化剂
　系列（05603）
　T 系列（05604）
脱氯剂（02111，03507）
JT203 脱砷催化剂（02114）
脱砷剂（02113）
脱水干燥剂（03515）
脱氧类催化剂（Ⅰ）（03503）
脱氧类催化剂（Ⅱ）（03504）
脱氧类催化剂（Ⅲ）（03505）
脱氧类催化剂（Ⅳ）（03506）

W

无定形硅铝裂化催化剂（05201）
无氟加氢裂化催化剂（05502）
无铬铁系丁烯氧化脱氢催化剂（06306）
芴系（04529）

X

烯烃叠合催化剂（06605）
硝基苯加氢制苯胺催化剂（06203）
硝酸尾气净化催化剂（03301，03302，03303，03304）
硝酸尾气净化催化剂
　8209 型（03302）
　XW101 型（03301）

Y

氧化铝涂钯触媒钯催化剂
　105 型（03505）
　T201 型（03505）
氧化铝脱水干燥剂
　NC-1303 型、TSB-01 型、WHA 型（03515）
氧化铝载体（05606）
氧化铁脱硫剂（02108）

SO_2 氧化脱硫催化剂（Ⅰ）(03201)
SO_2 氧化脱硫催化剂（Ⅱ）(03202)
氧化锌脱硫剂 (02106)
氧化锌脱硫剂 (03209)
一段转化催化剂 (02201)
一氧化碳低温变换催化剂 (02304)
一氧化碳宽温（耐硫）变换催化剂 (02306)
一氧化碳中（高）温变换催化剂 (02301)
一氧化碳助燃剂 (05218)
一氧化碳助燃剂（RH 系列）(05219)
乙苯脱氢催化剂
GS 型 (06302)
NCY 型 (06303)
XH 型 (06301)
乙醇脱水制乙烯催化剂 (06603)
乙烯气相氧化制醋酸乙烯催化剂 (06409)
乙烯水合催化剂 (06601)
乙烯脱一氧化碳催化剂 (03501)
乙烯氧化制环氧乙烷银催化剂 (06401)
乙烯氧氯化催化剂 (06411)
2-异丙基硫杂蒽酮 (04516)
1,2-异亚丙基-5-脱氧-5-二烷基胺-α-D-木呋喃糖 (07207)
银镍催化剂 (06611)
引发剂
A (04108)
B (04112)
BPPD (04111)
DCPD (04101)

Z

渣油裂化催化剂
CC-16 型 (05211)
MLC-500 型(05212)
渣油加氢脱硫和加氢脱氮催化剂 (05413)
脂肪酸加氢制脂肪醇催化剂 (06204)
制氮触媒 (03307)
中间油型加氢裂化催化剂 (05507)
CO 中温变换催化剂 (02302)
中压合成甲醇催化剂 (02505)
中压加氢改质催化剂 (05509)
3824 中油型加氢裂化催化剂 (05503)

英 文 索 引

A copper chelate(07203)
A cetocure X-500(04512)
active support catalyst(05607)
adsorbent for desulfurization (Ⅰ)(03206)
adsorbent for desulfurization (Ⅱ)(03207)
adsorbent for desulfurization (Ⅲ)(03208)
adsorbent for desulfurization (Ⅳ)(03209)
adsorbents(Ⅰ)(03512)
adsorbents(Ⅱ)(03513)
adsorbents(Ⅲ)(03514)
AIBN(04102)
Alperox C(04112)
alumina support (05606)
aluminium ethyl chloride/vanadylic chloride(07304)
ammonia combustion catalysts D101Q, D201Q(03307)
ammonia synthesis catalysts(02603)
ammonia synthesis Fe catalysts(02601)
ammonia synthesis Fe - Co catalysts (02602)
ammonia synthesis Ru catalyst(02605)
9-aniline fluorine(04529)
aromatic condensed ring and hetrocyclic t-butyl performate(04520)
aromatic monocyclic t-butyl performate (04519)
aromatic onium salt(04524)
atmospheric residue hydrodesulfurization (HDS)catalyst(05412)
2,2'-azo-bis(2,4-dimethyl)valeronitrile (04103)
2,2'-azo-bis-isorbutyronitrile(04102)
azo-bis-iso-heptonitrile(04103)
2, 2' - azobis (2 - methylpropionitrile) (04102)
benzene alkylation catalyst(06504)
benzene hydrogenation catalyst(06201)
benzene series organic effluent gas purifying catalyst(03401)
benzoin(04501)
benzoin bis-ether(04503)
benzoin ether(04502)
benzophenone(04511)
benzoyl peroxide(04113)
benzoyl superoxide(04113)
bis (α, α - dimethylbenzyl) peroxide (04114)
bis(1,1-dimethylethyl)peroxide(04108)
bis - (2 - ethylhexyl) peroxydicarbonate (04104)
bis (2 - phenoxyethyl) peroxydicarbonate (04111)
tert-butyl hydrogen peroxide(04105)
tert-butyl hydroperoxide(04105)
tert-butyl peroxypivalate(04106)

butynediol hydrogenation catalyst (06205)
carbinol synthesis catalyst(02501)
carbon monoxide combustion promoters (05218)
carbon monoxide combustion promoters (RH serious)(05219)
CA series FCC promoter for producing more LPG(05217)
catalyst for ammonia decomposition (03306)
catalyst for benzene oxidation to maleic anhydride(06404)
catalyst for dealkylation to benzene (06507)
catalyst for dehydrogenation of cyclohexanol(06304)
catalyst for ethanol dehydrating to ethylene(06603)
catalyst for etherification process of C_5 fractions(06607)
catalyst for ethylene acetoxylation to vinyl acetate(06409)
catalyst for heavy gas oil hydrofining (05404)
catalyst for hydrogenation of higher aliphatic acid to aliphatic alcohol (06204)
catalyst for lowering condensation point of diesel fuel(05605)
catalyst for naphthalene oxidation to phthalic anhydride(06403)
catalyst for propene oxidation to acrylic acid(06406)
catalyst for reforming process safeguard (05310)
catalyst for removing carbon monoxide (Ⅰ)(03501)
catalyst for removing carbon monoxide (Ⅱ)(03502)
catalyst for removing dienes and alkynes by hydrogenation(06207)
catalyst for removing sulphur-containing waste organic gas(03210)
catalyst for selective hydrogenation of C_3 fractions(06206)
catalyst for the first stage of pyrolysis gasoline(06214)
catalyst for the oxidation of *o*-xylene to phthalic anhydride(06402)
catalyst for toluene disproportion and transalkylation(06503)
8209 catalyst nitric acid exhaust purification(03302)
catalyst of Hopcalite MC-15, DB-75 and DB-83(03510)
catalysts for acrolein oxidation to acrylic acid(06407)
catalysts for methanol gas phase amination to methylamine(06606)
catalysts for toluene disproportion and transalkylation(06501)
catalysts for propene ammoxidation to acrylonitrile(06408)
catalysts for propene oxidation to acrolein (06405)
catalysts for second stage hydrogenation of pyrolysis gasoline(06212)
catalysts for the first stage of pyrolysis gasoline(06211)

effluent hydrocarbon gas treatment catalyst(Ⅱ)(03403)
effluent hydrocarbon gas treatment catalyst(Ⅲ)(03404)
effluent hydrocarbon gas treatment catalyst(Ⅳ)(03405)
EHP(04104)
Esacure, CB3(04502)
Esacure KB(04503)
ethybenzene dehydrogenation catalyst GS(06302)
ethybenzene dehydrogenation catalyst NCY(06303)
ethybenzene dehydrogenation catalyst XH(06301)
ethylene oxychlorination catalyst(06411)
Fe-Mn desulphurizer(02110)
high—aluminium molecular sieve catalytic cracking catalyst(05203)
hydration catalyst for ethylene(06601)
hydration catalyst for propylene(06602)
hydrocracking catalyst for coker diesel(05505)
hydrocracking catalyst 3825 for light oil(05504)
hydrocracking catalyst 3905 for light oil(05508)
hydrocracking catalyst 3824 for middle oil(05503)
hydrocracking catalyst (series)(05501)
hydrocracking catalyst without fluorine(05502)
hydrodenitrogenation catalysts(05419)
hydrodesulfurization catalysts(05418)
hydrodewaxing catalysts(05425)
hydrodewaxing catalysts for diesel fuel (series)(05424)
hydrodewaxing catalysts for lube oil(05427)
hydrodewaxing catalysts for lube oil (series)(05426)
hydrofining catalyst CH—17(05410)
hydrofining catalyst FH—5(05416)
hydrofining catalyst FH—98(05417)
hydrofining catalyst for lubricating oil(05414)
hydrofining catalyst for sulfur-containing VGO and CGO(05415)
hydrofining catalyst for the feedstock of reforming process(05408)
hydrofining catalysts (CH series)(05401)
hydrofining catalysts 3722(05406)
hydrofining catalysts 3822(05405)
hydrofining catalysts for raffinate oil(05423)
hydrofining catalysts (RN series)(05402)
hydrofining catalysts (481 series)(05403)
hydrogenation and dearsenication catalysts (series)(05422)
hydrogenation Iron removing catalyst(05421)
1-hydroperoxycyclohexyl(04107)
1-[(1-hydroperoxycyclohexyl)dioxy]cyclohexanol(04107)
1-hydroxycyclohexyl peroxide(04107)
1-hydroxy hexyl phenyl acetone(04508)
initiator BPPD(04111)

iron tetrafluoroborate(04522)
nitrobenzene hydrogenation catalyst for making aniline(06203)
noble metal-containing catalyst for decontamination of automobile gas (03102)
noble metallic catalyst for decontamination of automobile gas(03101)
non chrome ferrite catalyst for oxidative dehydrogenation of *n*-butene(06306)
non noble metal catalyst for decontamination of automobile gas (03103)
Nuvopol PL2000 (04507)
octane enhancement FCC catalyst DOCP-L(05209)
oligomerization catalyst for olefines (06605)
optically active amino thioacetes (07211)
other desulfurizating hydrogenation catalysts (02105)
other desulphurization agent (03211)
overseas ammonia oxidation catalyst (02703)
overseas ammonia synthesis catalysts (02604)
overseas catalyst nitric acid exhaust purification (03303, 03304, 03305)
overseas dechlorinating agent (02112)
overseas desulfurizating hydrogenation Co-Mo catalysts(02102)
overseas desulfurizating hydrogenation Ni-Mo catalysts (02104)
overseas high-pressure carbinol synthesis catalyst (02504)
overseas high temperature CO shift catalysts (02303)
overseas iron oxide desulphurizer (02109)
overseas low-pressure carbinol synthesis catalyst (02503)
overseas low temperature CO shift catalysts (02305)
overseas methanation catalysts (02402)
overseas naphtha steam reformin catalysts (02206)
overseas primary natural gas steam reforming catalysts (02202)
overseas secondary hydrocarbon steam reformin catalysts (02204)
overseas sulphur resistant CO shift catalysts (02307)
overseas zinc oxide desulphurizer (02107)
oxidation ammonia to acid catalyst (02702)
oxidation catalysts (02701)
oxidative desulfueization catalyst of SO_2 (Ⅰ) (03201)
oxidative desulfueization catalyst of SO_2 (Ⅱ) (03202)
paraffin hydrofining catalyst (05407)
perfluorinated sulfonic acid resin (04401)
phenol hydrogenation catalyst (06202)
4-phenyl henzophenone (04514)
phenyl chlorophenyl methylphenyl boron *t*-butyl lithium (04521)
p-phenyloxy, 2, 2-dichloro acetophenone (04507)
porofor-57 (04102)
primary natural gas steam reforming cat-

alysts (02201)
protective catalyst for hydrogenation catalyst (05420)
Quantacure CTX (04515)
Quantacure ITX (04516)
Quantracure BMS (04513)
Raney nickel catalyst (06209)
refinery gas steam reforming catalysts (02207)
reforming catalyst 3961 (05309)
reforming catalyst CB-11 (05308)
reforming catalyst, Pt (05302)
reforming catalyst with low platinum content (05307)
reforming catalyst, Pt-Re (05304)
reforming catalyst, Pt-Re (05306)
reforming catalyst, Pt-Re-Ti (05305)
reforming catalyst, Pt-Sn (05303)
reforming catalysts (series) (05301)
residual oil cracking catalyst CC - 16 (05211)
residual oil cracking catalyst MLC - 500 (05212)
residual oil hydrodesulfurization and hydrodenitrogenation catalyst (05413)
Rhodamine dyes (04526)
salen epoxidation catalyst (07206)
Sb-Sn composite metal passivator (05221)
secondary hydrocarbon steam reformin catalysts (02203)
selective hydrogenation catalyst of alkynes in C_4 cut (06208)
semisynthetic molecular sieve catalytic cracking catalyst (05206)
silver catalysts for epoxyethane (06401)
silver nickel catalyst (06611)
silver-pumice catalyst (06412)
solid phosphoric acid catalyst T - 49 (06604)
SRY zeolite with rich silicon in framework (05215)
strong acid cation exchange resin (04201)
strong basic anion exchange resin (OH type) (04301)
sulphur resistant CO shift catalysts (02306)
superstable Y-type zeolite molecular sieve cracking catalyst (05205)
1, 1, ω, ω - tetraaniline polymethylidyne (04527)
the BINAP-Rh^+ complex (07201)
the oxazaborolidine catalyst (07205)
the titanium-tartrate complex (07204)
Ti(BINOL) complex (07208)
Ti(Co) ziegler catalyst (07306)
titanium trichloride aluminun dialkyl chloride (07303)
titanium (zirconium) dialkyl endo-silicon cyclopentadiethyl tert - butylamine (07302)
toluene disproportionation and transalkylation catalyst (06502)
Trigonal (04514)
Trigonol 14 (04502)
(1*R*, 3*S*) - 1, 2, 2 - trimethyl - 1, 3 - cyclopentanediamine (07212)
triphenyl methane (04528)
vanadium-tolerant FCC catalyst (05213)
water treatment catalyst (03511)

[General Information]
书名=精细化工产品手册　　催化剂
作者=
页数=373
SS号=0
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
正文